



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA PILOTO DE COMPOSTAJE DEL
DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, PROVINCIA
Y REGIÓN DE CUSCO**

Presentada por el Bachiller

CARLOS ÁLVAREZ, Wilson

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

CUSCO - PERÚ
2016

Dedicatoria:

A mis padres con sincero afecto y reconocimiento por su apoyo incondicional y firme en el logro de mis objetivos profesionales, a mi esposa por el ánimo continuo de culminar este trabajo, y a mi hija Lyana quien hace que sea feliz cada segundo que pasa.

El autor.

Agradecimientos:

A Dios por su misericordia y bendiciones en mi vida. Gracias Dios mío por todo.

Agradezco al Profesor Ing. Rodney Vega Vizcarra por la oportunidad de hacer que se desarrolle mi tesis. Gracias por todos los conocimientos que me ha transmitido y gracias por todos los consejos que nunca han faltado durante su asesoramiento.

A mis amigos y compañeros de universidad, que en momentos de ansiedad o desesperación estuvieron ahí para robarme una sonrisa y hacerme olvidar los malos momentos.

El autor.

Índice del contenido

Dedicatoria:.....	II
Agradecimientos:	III
Índice del contenido.....	IV
Glosario de abreviaturas	IX
Indice de tablas	X
Indice de figuras.....	XI
Lista de anexos.....	XII
Resumen.....	XIII
Abstract.....	XIV
Introducción	XV
 Capítulo I: Planteamiento del problema	
1.1 Caracterización de la problemática.....	1
1.2 Formulación del problema.	3
1.2.1 Problema general.	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general:.....	4
1.3.2 Objetivos específicos:	4
1.4 Justificación de la investigación.	4
1.5 Importancia de la investigación.	5
1.6 Limitaciones de la investigación.....	5

Capítulo II: Fundamentos teóricos

2.1	Marco referencial.....	6
2.1.1	Antecedentes de la Investigación.....	6
2.1.2	Referentes teóricos.....	9
2.2	Marco legal.....	10
2.2.1	Constitución Política del Perú (1993).....	11
2.2.2	Ley General del Ambiente-Ley N° 28611.....	11
2.2.3	Ley N° 27314: Ley General de Residuos Sólidos.....	12
2.2.4	D.S. N° 016 – 2012 – AG. Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario.....	14
2.3	Marco conceptual.....	15
2.3.1	Acuífero.....	15
2.3.2	Botadero.....	15
2.3.3	Biogás.....	16
2.3.4	Coberturas de servicio de saneamiento público.....	17
2.3.5	Composteo.....	17
2.3.6	Manejo de residuos sólidos.....	18
2.3.7	Contaminación.....	19
2.3.8	Gestión de residuos sólidos.....	20
2.3.9	Lixiviado.....	21
2.3.10	Minimización.....	22
2.3.11	Municipios saludables.....	22
2.3.12	Planificación local participativa.....	23
2.3.13	Patógenos.....	23

2.3.14	Reciclaje.....	24
2.3.15	Relleno sanitario.	25
2.3.16	Residuos sólidos.	25
2.3.17	Residuos sólidos orgánicos.....	26
2.3.18	Saneamiento ambiental.	26
2.3.19	Segregador.	27
2.3.20	Servicios de aseo urbano.....	27
2.3.21	Servicios especiales.	27
2.4	Marco teórico.....	27
2.4.1	Compostaje de los Residuos Sólidos Orgánicos.....	27
2.4.1.1	Definición.	27
2.4.1.2	Acción química del compost.....	28
2.4.1.3	El proceso de Compostaje.....	29
2.4.1.4	Microbios, organismos descomponedores.....	30
2.4.1.5	Demanda de los microbios por la temperatura.	32
2.4.1.6	La acción de la temperatura sobre los microbios.....	32
2.4.1.7	Medición de la actividad.....	33
2.4.1.8	Descomposición de la celulosa.	33
2.4.1.9	Biodegradación de los almidones.	34
2.4.1.10	Descomposición de las grasas.....	34
2.4.1.11	Degradación de la lignina.	34
2.4.1.12	Producto final, Humus.	35
2.4.2	Parámetros principales.....	36
2.4.2.1	Factores que afectan el proceso de compostaje.	37

2.4.2.2	Porosidad, estructura y textura.....	39
2.4.3	Sistemas o métodos de compostaje (formas técnicas).....	40
2.4.3.1	El sistema de apilamiento estático.....	41
2.4.3.2	Apilamiento con volteos.....	41
2.4.3.3	Sistema de volteos y ventilación forzada.....	41

Capítulo III: Planteamiento metodológico

3.1	Metodología de investigación.....	42
3.1.1	Método de investigación.....	42
3.1.1.1	Ubicación geográfica.....	42
3.1.1.2	Procedimiento de tareas para el seguimiento del proceso de compost.....	43
3.1.1.3	Estudio de factibilidad.....	45
3.1.2	Tipo de investigación.....	61
3.1.3	Nivel de la investigación.....	61
3.2	Diseño de la investigación.....	61
3.3	Hipótesis de la investigación.....	61
3.3.1	Hipótesis general.....	61
3.3.2	Hipótesis específicas.....	61
3.4	Variables.....	62
3.4.1	Variable independiente.....	62
3.4.2	Variable dependiente.....	62
3.5	Cobertura del estudio de investigación.....	62
3.5.1	Población.....	62
3.5.2	Muestra.....	62
3.5.3	Muestreo.....	62

3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	62
3.6.1	Técnicas de investigación.	62
3.6.2	Instrumentos de investigación.	63
3.6.3	Fuente de redacción de datos.	63
3.7	Procesamiento estadístico de datos.	63
3.7.1	Medidas.	63
3.7.2	Representaciones.	63
Capítulo IV: Organización, presentación y análisis de resultados		
4.1	Resultados.	64
4.1.1	Características de la planta piloto de compostaje.	64
4.1.2	Seguimiento al proceso de compostaje.	65
4.1.2.1	Pruebas in situ (en campo).	65
4.1.2.2	Pruebas ex situ (en Laboratorio).	66
4.2	Discusión de resultados.	68
4.2.1	Análisis y resultados de humedad en laboratorio.	70
4.2.2	Análisis y resultados de pH en laboratorio.	71
4.2.3	Análisis y resultados de temperatura. (Prueba en campo).	73
4.2.4	Análisis y resultados de la producción de compost.	75
4.3	Comprobación de la hipótesis.	76
	Conclusiones.	78
	Recomendaciones.	80
	Referencias.	81
	Anexos.	83

Glosario de abreviaturas

GIRS: Gestión Integral de Residuos Solidos

SE: Sur Este

NO: Nor Oeste

GEI: Gases de Efecto Invernadero

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

RVI: Residuos Vegetales de Invernadero

SIG: Sistema de Información Geográfica

EPS-RS: Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Solidos

EC-RS: Empresa Comercial de Residuos Solidos

GNC: Gas Natural Comprimido

MINAM: Ministerio del Ambiente

MINSA: Ministerio de Salud

GPC: Generación Percápita

BIMA: Boletín de Información del Medio Ambiente

MD: Municipalidad Distrital

ECRSD: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domésticos

RR. SS: Residuos Solidos

ECRSC: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Comerciales

RSO: Residuos Sólidos Orgánicos

PTC: Planta de Tratamiento de Compostaje

FAO: Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Índice de Tablas

Tabla 1: Relación ancho – alto de los compostadores	46
Tabla 2: Parámetros de compostaje	47
Tabla 3: Fases del compostaje – temperatura y pH	47
Tabla 4: Generación y caracterización física de residuos sólidos domiciliarios del distrito San Jerónimo	49
Tabla 5: Composición física de RRSS domiciliarios.....	50
Tabla 6: Composición física de residuos sólidos de mercados del distrito de San Jerónimo.....	50
Tabla 7: Densidad de los residuos sólidos por el valor comercial.....	51
Tabla 8: Generación total de RR SS del distrito de san Jerónimo.....	51
Tabla 9: Acopio de residuos sólidos orgánicos y producción de compost	52
Tabla 10: Proporción de entrada de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje del distrito	53
Tabla 11: Relación C/N para los compostadores 2 y 4.....	53
Tabla 12: Características de materiales en los compostadores 1 y 3	57
Tabla 13: Características de materiales en los compostadores 2 y 4.....	57
Tabla 14: Consolidado de características de construcción de compostadores.....	59
Tabla 15: Parámetros monitoreados durante el proceso de compostaje	69
Tabla 16: Tiempo de monitoreo y control	69
Tabla 17: Resultados de % de humedad	70
Tabla 18: Resultados de pH en el proceso de compostaje.....	72
Tabla 19: Promedio de temperatura semanal en cada compostador	74
Tabla 20: Producción de Compost.....	76

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación geográfica de la planta piloto de compostaje del distrito de San Jerónimo.....	43
Figura 2: Disposición temporal de residuos orgánicos	52
Figura 3: Esquema de colocación de los compostadores 1 y 2 con sus respectivos componentes	54
Figura 4: Esquema de colocación de los compostadores copia 3 y 4 con sus respectivos componentes	54
Figura 5: Instalación de compostadores.....	55
Figura 6: Preparación de residuos orgánicos	56
Figura 7: Área de la planta piloto de compostaje del distrito de San Jerónimo	65
Figura 8: Medición de temperatura.....	66
Figura 9: Toma de muestra representativa para pruebas en laboratorio	67
Figura 10: Determinación de Humedad.....	67
Figura 11: Determinación de pH	68
Figura 12: Cambios de % de humedad en el proceso de compostaje.....	70
Figura 13: Cambios de pH en el proceso de compostaje.....	71
Figura 14: Promedio de temperatura semanal en cada compostador.....	73
Figura 15: Tendencia de la dinámica de temperatura en todo el proceso de Compostaje.....	74
Figura 16: Producción de Compost.....	75

Lista de Anexos

Anexo A: Cálculos para determinar las características cuantitativas de los sustratos en los compostadores.....	81
Anexo B: Planillas de control.....	89
Anexo C: Calculo de humedad.....	92
Anexo D: Registro de temperatura diaria.....	94
Anexo E: Control de temperatura después de cada volteo.....	97
Anexo F: Programa de educación ambiental.....	98

Resumen

El estudio tendrá la visión de una empresa que procesará residuos sólidos orgánicos del centro poblado y de aledaños, en la franca decisión de obtener compost de calidad, que sea utilizable como abono orgánico, en cualquier tipo de cultivo y sea un complemento necesario para mejorar la producción agrícola, no solo en resultados, sino en riqueza nutricional y en rendimiento.

Inicialmente se considera los niveles de producción, que luego tiene que mirar el comercio en la zona, y ser dirigido a los cultivos más representativos en cuanto al número de hectáreas cultivadas en el territorio.

El comercio de este producto dependerá del volumen de residuos con los que se tiene para ser procesados. Es probable que estos residuos se han de incrementar significativamente de tal forma que puedan desarrollar favorablemente un crecimiento sostenido de la producción del compost, que permita que los suelos sean más sanos y que cada vez sean menos los residuos que se destinen en la zona y eso es beneficioso para los pobladores, para la vida misma y para el ambiente.

Este estudio desarrolla ese proceso y analiza el potencial que puede significar de manera que se inicie y pueda significar un propósito de investigación, aprovechamiento y desarrollo sostenible y contundente en función del compostaje.

Es correcto que se deben asumir medidas para prevenir posibles contactos o problemas a solucionar los cuales sean probablemente atendidos en base a la investigación y esta se pueda replicar en otras realidades consiguiendo que el objetivo principal de la educación se obtenga, en bien de la agricultura orgánica, la alimentación sana y el ambiente menos contaminado.

El autor.

Abstract

The study will have the vision of a company that will process organic solid waste from the town center and its surroundings, in the free decision to obtain quality compost, which is used as organic fertilizer in any crop and is a necessary complement to improve agricultural production, not only in performance but in nutritional value and performance.

Initially considered production levels, which then has to look at the trade in the area, and be directed to the most representative crops in the number of cultivated hectares in the territory.

The trade of this product will depend on the volume of waste with which it has to be processed. It is likely that these residues are to increase significantly so that they can positively develop sustained growth in the production of compost, which allows the soil are healthier and increasingly less waste intended in the area and that it is beneficial for the people, for life itself and the environment.

This study develops the process and analyzes the potential that can mean so that it starts and can mean a purpose of research, development and sustainable and strong development in terms of composting.

Is it right that must take measures to prevent possible contacts or problems to be solved which are likely to be served based on research and this can be replicated in other realities achieving the main goal of education is obtained, in the interest of organic farming , healthy eating and less polluted environment.

The author

Introducción

La producción de residuos sólidos urbanos es una consecuencia directa de las actividades diarias desarrolladas por el hombre. En los domicilios, mercados, ferias, áreas verdes, vías públicas, oficinas, etc.; se generan residuos que son necesarios recoger, tratar y eliminar adecuadamente, según los principios de minimización y prevención de la ley general de residuos sólidos 27314.

Los residuos sólidos en la ciudad de Cusco han afectado al ambiente ocasionando impactos negativos por su disposición inadecuada en efecto a los siguientes parámetros: crecimiento poblacional, hábitos de consumo, urbanización, disminución de servicios municipales, y baja conciencia ciudadana. Por ello, mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos y en la gestión integral de los residuos sólidos (GIRS), no es solo una exigencia, sino, un reto. Del mismo modo, el tratamiento de los residuos sólidos demanda un valor económico elevado. Se presenta entonces la obligación de buscar opciones a la reducción de costos para su tratamiento, ya sea mejorando las técnicas conocidas o por la aplicación de nuevas tecnologías que resulten no sólo eficientes, sino, económicamente viables. Existen procesos de biodegradación de los residuos sólidos orgánicos, entre muchos se tiene al compostaje, y es una técnica mediante el cual se puede aprovechar los residuos sólidos no peligrosos en compost a través de la descomposición de estos residuos por microorganismos aeróbicos, pero dado que no se tiene un buen control en los parámetros fundamentales para este proceso, en consecuencia, se genera olores desagradables y un producto deficiente, el cual no dará buenos beneficios económicos, sociales y ambientales. Por todo lo anterior, quiero centrar mi tesis en el tema de evaluación de eficiencia, lo cual implica: vigilancia, control, seguimiento, y verificación de las actividades del proceso de compostaje para evitar principalmente impactos negativos en la salud ocupacional de los obreros en dicha zona y la obtención de un compost adecuado.

Para alcanzar la presente tesis se ha considerado la siguiente estructura:

Páginas iniciales: Carátula, Dedicatoria, Agradecimiento, Índice, Resumen e Introducción.

Contenido temático:

- Capítulo I: Planteamiento del Problema.
- Capítulo II: Fundamentos Teóricos.
- Capítulo III: Planteamiento Metodológico.
- Capítulo IV: Organización, presentación y análisis de resultados.

Páginas complementarias: Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos.

Con respecto entonces al presente estudio se tiene la certeza de que el análisis ha ampliado significativamente mucho de la problemática actual de tal forma que se pueda luego establecer los criterios connotativos del mismo, para que a partir de ese procedimiento se pueda decir si las propuestas alcanzadas serán útiles para el desarrollo del presente estudio.

En sus ilustradas manos, los lectores podrán establecer las sugerencias al mismo para poder ser un documento que sea empleado en la gestión ambiental del distrito y de nuestra Universidad.

El autor.

Capítulo I

1 Planteamiento del problema

1.1 Caracterización de la problemática

Hoy en día, al interior del país, en varias regiones, hablar de compost es muy común, ya que existen muchas entidades dedicadas a la producción de compost con la preocupación de reciclar y reutilizar residuos sólidos orgánicos y de esta forma reducir el volumen de estos mismos, ocupando así, menos espacio en los botaderos o rellenos sanitarios.

En la comunidad de Picol – Orcconpujio Del distrito de San Jerónimo en la ciudad de Cusco, existe una planta piloto de compostaje con 3 plataformas en funcionamiento. Este distrito junto a EDEGEM en el afán de contribuir a la disminución de los residuos sólidos generados en la ciudad, dieron inicio a esta actividad y que hoy en día la producción de compost es una realidad, pero con deficiencias en el control de temperatura, microorganismos, etc.

Es saludable esta iniciativa, y aún más, si todo el proceso se realiza con mucha cautela, de modo que, el resultado final sea lo esperado, lo cual genera beneficios económicos, sociales y ambientales dentro del distrito de San Jerónimo.

Esta investigación se realiza en la Región de Cusco, Provincia de Cusco, Distrito de San Jerónimo, en la Comunidad de Picol, ubicada al SE de la Ciudad, a 5km de la plazuela del Distrito en mención. Tiene un área de 7000 m²

Este trabajo de investigación ha concluido en un tiempo determinado y se dispone de los resultados finales, que incluyen el proceso de compostaje de planta piloto de compostaje en mención.

La planta se encuentra en una zona rural a 10 minutos de la zona urbana del distrito, la población circundante vive de la agricultura, y por lo general cuentan con quinto de secundaria en cuanto se refiera al grado de instrucción.

Esta investigación evalúa los parámetros en el control, tanto para la etapa de construcción como de operación de la producción de compost. Esto permitirá dar

nuevos enfoques para otras instituciones que pretendan realizar este tipo de actividades, lo cual inducirá a reducir los impactos negativos en el aspecto económico, social y ambiental.

Para el caso de formulación, se ha tenido en cuenta los conceptos fundamentales como: Procesos, parámetros y factores de compostaje, así como también Sistemas o métodos de compostaje.

La investigación se realizó de la siguiente forma:

- Con visitas al lugar de estudio las veces que se requiera para identificar características que ayude a desarrollar la investigación.
- Mediante encuestas a personas de muestra identificada.
- Con un análisis bibliográfico sobre evaluación de eficiencia de actividades en planta de compostaje.
- Analizando las acciones implementadas en la producción de compost en la planta de compostaje del Distrito de San Jerónimo.
- Se realizó un informe si se cumplió con el objetivo de la investigación al culminarlo.

En el compostaje, la materia orgánica es descompuesta, con la ayuda del aire y los microorganismos. La materia orgánica se degrada de forma incompleta, quedando un residuo sólido llamado compost. Los microorganismos que hacen el trabajo tienen requerimientos básicos que deben ser atendidos. El aire, agua, la temperatura y la correcta relación de nutrientes se combinan para crear un buen ambiente de compostaje. Cuando una pila no tiene suficiente oxígeno, el proceso se transforma en anaerobio y se producen olores ofensivos. Las bacterias, hongos y otros microorganismos que llevan a cabo el proceso utilizan el nitrógeno para el crecimiento de la población, pero el exceso de nitrógeno generará amoníaco y otros olores. Al descomponer los residuos se genera calor. Cuando las temperaturas suben más de 70 °C, los organismos empiezan a morir. Ventilar la pila antes de que la temperatura alcance este punto impedirá el recalentamiento, que podría provocar una drástica reducción de la población y la generación de olores.

Respecto al marco normativo, en América del Sur, la norma Chilena Oficial 2004: Compost – Clasificación y Requisitos (Instituto Nacional de Normalización- Chile) busca promover la gestión adecuada y valorización de los subproductos y residuos sólidos orgánicos, evitar la diseminación de plagas, enfermedades y malezas que puedan venir incorporadas en el producto, junto con promover y fomentar el desarrollo de la industria nacional del compost. A su vez, la norma determina qué tipo de materia prima puede ser transformada en compost, donde autoriza el uso de materias vegetales de parques, cementerios, clubes, jardines, podas de árboles y del aseo de ferias libres, mercado y supermercados, respectivamente.

En el Perú, existe grandes plantas de producción de compost como Apropisco (Paracas), Industrias alimentarias Gloria (Lima), entre otros, pero no se conoce las medidas de control para los olores que pudieran generar.

En el País no existe un Marco Normativo referido a la producción de compost y todo lo relacionado a dicha actividad, por lo que aquellas plantas de procesamiento de compost, desarrollan sus actividades, en función a guías de producción de compost.

En la Ciudad de Cusco, solo el Distrito de San Jerónimo posee una planta de procesamiento de compost a partir de residuos sólidos Orgánicos derivado esencialmente del mercado de Vinocanchon. Dado que no se tiene buen control y un marco normativo para esta actividad, la optimización de la materia orgánica en esta instancia es ineficiente.

1.2 Formulación del problema.

1.2.1 Problema general.

¿Cuál es el nivel de eficiencia productiva de la Planta Piloto de Compostaje del distrito de San Jerónimo?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características básicas de los residuos sólidos que se generan en el distrito de San Jerónimo?
- ¿Cuáles son los niveles de compostaje que genera la Planta Piloto de Compostaje del distrito de San Jerónimo?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general:

Determinar el nivel de eficiencia productiva de la planta de compostaje del Distrito de San Jerónimo.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Describir las características básicas de los residuos sólidos que se generan en el distrito de San Jerónimo.
- Describir los niveles de compostaje que genera la Planta Piloto de Compostaje del distrito de San Jerónimo.

1.4 Justificación de la investigación.

Cualquier proceso de compost, es muy significativo para una sociedad que hoy en día tiene el interés de la conservar las interacciones de ecosistemas y el cuidado de la salud pública.

Por lo tanto, es necesario evaluar el proceso de compost, que pueda mejorar las operaciones en la planta de compostaje y resaltar sus productos finales en términos de calidad para un ambiente y sociedad sano, más aun, que es una alternativa el cual da tratamiento a los residuos sólidos no peligroso de clase municipal, que en la actualidad es un problema ambiental nacional e internacional si nos referimos al que hacer con los residuos que se genera por toneladas día a día.

Al llevar a cabo esta investigación, se pretende causar impactos positivos en la economía local, sociedad y en el ambiente, de manera que inspire confianza total los procesos de descomposición de residuos sólidos orgánicos en compost.

A continuación, se mencionará los posibles impactos positivos:

- Disminución del incremento de gases de efecto invernadero (GEI).
- Control de Proliferación de Mosca que son vectores de enfermedades.
- Proporcionar un ambiente saludable para los obreros.
- Mejorar las operaciones, producto final de la planta de compostaje.

- Incentivar el desarrollo de las plantas de compostaje, pero de forma responsable con tecnologías y procedimiento ambientalmente compatibles.

1.5 Importancia de la investigación.

Es importante porque los residuos sólidos en la ciudad de Cusco han ocasionado problemas en la sociedad y están afectando al ambiente ocasionando impactos negativos por su disposición inadecuada. Por ello, mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos y en la gestión integral de los residuos sólidos (GIRS), no es solo una exigencia, sino, un reto.

Del mismo modo, el tratamiento de los residuos sólidos demanda un valor económico elevado. Se presenta entonces la obligación de buscar opciones a la reducción de costos para su tratamiento, ya sea mejorando las técnicas conocidas o por la aplicación de nuevas tecnologías que resulten no sólo eficientes, sino, económicamente viables.

1.6 Limitaciones de la investigación

La investigación se limitará a los siguientes aspectos:

a) Falta de instrumentos disponibles para mediciones técnicas in situ.

Por la característica técnica de la investigación algunos aspectos para la medición de parámetros como: oxigenación, relación de nutrientes y microorganismos, humedad, etc. Requieren de instrumentos de medición específicos, con los cuales no se cuenta, en consecuencia, dichas mediciones y/o análisis se realizará en laboratorios químicos.

b) Características de muestras.

Dado que la toma de muestras se tiene que realizar en tiempos y estaciones diferentes para su respectivo análisis, y para ello se requerirá de un ambiente de estadía para el muestrario, pero se observa que esta posibilidad sea improcedente por las condiciones existentes en lugar de trabajo. Para lo cual, la toma de muestras se tendrá que realizar viajes consecutivos.

Capítulo II

2 Fundamentos teóricos

2.1 Marco referencial.

2.1.1 Antecedentes de la Investigación.

A. MASSERA, Miriam, PIÑEDA, Héctor; REARTES, Nancy y BOLOGNA, Cristina (2007) en la tesis **LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**, presentada en la Universidad Nacional de Río Cuarto – Córdoba - Argentina, se planteó la solución a la problemática de los residuos peligrosos generados en esa casa de estudios. Las cantidades generadas sean relativamente pequeñas se hace necesario formular e implementar medidas de control con instalaciones especiales (C.D. Burgess, 1983), técnicas apropiadas y si correspondiente monitoreo ambiental. La metodología que se realizó para la implementación de este sistema fue el siguiente:

- ✓ Identificación de áreas generadoras de residuos peligrosos.
- ✓ Clasificación, categorización y cuantificación de residuos.
- ✓ Análisis del riesgo.

El estudio de los relevamientos hechos se complementa con un análisis cualitativo del riesgo. Contribuyendo a evaluar la situación actual, aporta, además, elementos que permitan definir las acciones a seguir en el futuro para dar solución a la problemática de los residuos sólidos peligrosos en esta universidad.

Para esto se creó:

- ✓ Generación de un modelo general de gestión.
- ✓ Modelos de gestión para residuos inflamables e infecciosos.

En la que se concluyó en el diagnóstico actual que en los lugares generadores se tienen áreas inadecuadas de almacenamiento, carencia de

control global, inexistencia o inadecuación de programas de etiquetado de sustancias almacenadas, programas inadecuados de formación. Que la mayoría de accidentes están relacionados a aspectos de seguridad general y manejo inapropiado de instrumental y de residuos tóxicos.

Con el modelo general de gestión y los métodos particulares para residuos inflamables e infecciosos se establece un marco para el fomento de la aplicación de técnicas y procedimientos adecuados para la minimización, y asegurar que se elija la ruta correcta desde la generación hasta su disposición final en instalaciones y condiciones adecuadas.

- B. JARAMILLO HENAO. Gladys y ZAPATA MÁRQUEZ, Liliana María. (2008). En la tesis **“APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA”**, presentado en la Universidad de Antioquía. Alcanza el siguiente resumen: “Los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. Este trabajo define cada uno de los tipos de aprovechamiento apoyados en la normatividad existente; Igualmente compila algunas experiencias a nivel mundial, regional y local, los impactos positivos y negativos y los costos para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos”.
- C. ARMAS YOLANDA, Y. G. (2005) en la tesis **“ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES QUE GENERARÁ LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DE SAN MIGUEL DE IBARRA, EN EL SECTOR LAS TOLAS DE SOCAPAMBA”**, presentado en la Universidad Técnica del Norte, que alcanza las siguientes conclusiones:
- Existe mayor significación de impactos negativos en el componente aire y suelo, en los que se obtuvo valores máximos de

375 en lo relacionado a la calidad de aire y movimiento de tierra; el agua no será afectada ya que la única fuente permanente se encuentra aproximadamente a cuatro kilómetros del sitio dispuesto para esta desarrollar este proyecto y no existen evidencias de fuentes subterráneas.

- Se elaboró el Plan de Manejo Ambiental tomando en cuenta la identificación de los impactos ambientales los cuáles constan en tres programas de manejo relacionados con los componentes aire, agua y suelo, los mismos que están encaminados a minimizar los impactos que se genere en la construcción y operación del relleno sanitario, estos programas de manejo contemplan subprogramas y proyectos de monitoreo con sus respectivas frecuencias de control.
- El Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental del Relleno Sanitario permitirá que la construcción y operación de esta obra sea sustentable, siempre y cuando se aplique el Plan de Manejo Ambiental.
- En conclusión, de la identificación y evaluación ambiental realizada, se desprende que todos los impactos negativos muy significativos y significativos, son mitigables y/o remediabiles, por lo que el proyecto se convierte en ambientalmente viable.

D. BARRENA GOMEZ, Raquel. (2000) en la tesis **“COMPOSTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS APLICANDO LA TÉCNICA RESPIROMÉTRICA EN EL SEGUIMIENTO DEL PROCESO”**, presentado en la Universidad Autónoma de Barcelona, en la que se tiene el siguiente resumen: El proceso de compostaje de RSU es uno de los métodos de tratamientos más sostenibles que nos permiten reducir y estabilizar su contenido en materia orgánica. Estudiar los procesos de compostaje utilizando diversas técnicas respirométricas para obtener un adecuado nivel de actividad biológica en muestras de compost.

2.1.2 Referentes teóricos.

- A. CARDONA ALZATE, Carlos Ariel, SÁNCHEZ TORO, Óscar Julián, RAMÍREZ ARANGO, Julián Andrés y ALZATE RAMÍREZ, Luis Eduardo, presentan en la Revista colombiana de Biotecnología Vol.VI. No. 2. diciembre 2004 el artículo: **BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE PLAZAS DE MERCADO**, se tiene el siguiente resumen: En el presente trabajo se caracterizaron, clasificaron y acondicionaron los residuos orgánicos de la plaza de mercado de Manizales (Caldas), analizándose los posibles tratamientos para su conversión en productos de valor agregado. Se eligió transformar el almidón y la celulosa presentes en los residuos. Se establecieron las mejores condiciones de temperatura, pH y dosificación de enzima para transformar los polisacáridos en azúcares reductores. Para la transformación del almidón y la celulosa se utilizaron glucoamilasa y celulasas comerciales. La conversión de almidón alcanzó valores del 60% a 50 °C, y un pH de 6,0. La conversión de celulosa fue de un 4% a 60 °C y un pH de 4,0. Se llevó a cabo el estudio cinético del hidrólisis de almidón con base en el modelo de Michaelis-Menten. A partir de la nueva materia prima (azúcares reductores) se obtuvo etanol. Igualmente se evaluó la producción de biogás y compost a partir de los residuos sólidos estudiados. En la producción de biogás se determinó que por cada kilogramo de residuos tratados se producen, en el rango de temperatura mesofílica, aproximadamente 4 L de biogás. A pesar de los valores relativamente bajos de la relación C/N para los residuos vegetales, se evidenció la posibilidad de llevar a cabo un proceso de compostaje para este tipo de desechos.
- B. FERNÁNDEZ, María (2012), en la tesis **“EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE DOMICILIARIO COMO MODELO DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS”**, presentado en la Universidad Tecnológica Nacional de Córdoba – España, considera el siguiente resumen: *Para* aprovechar la fracción orgánica de los residuos que se generan en la ciudad, es necesaria la diferenciación. Esta se puede hacer en

origen (el hogar) o en el destino (de manera centralizada), una vez seleccionada es necesario seleccionar la técnica de compostaje más apropiada que nos reduzcan recursos, tiempo, dinero y un material orgánico estable.

- C. MANZANO AGUGLIARO, Francisco Rogelio, en el artículo **GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE INVERNADERO PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SUR DE ESPAÑA**, presentado en Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América, ISSN 0378-1844, Vol. 32, N°. 2, 2007, en el que se incluye el siguiente resumen: Se evaluó la viabilidad técnica para el establecimiento de una planta gasificadora que genere energía eléctrica a partir de la biomasa procedente de los residuos vegetales de invernadero (RVI) en la costa de Granada, sur de España. Para ello primero se estableció un modelo para la estimación de la biomasa estacional procedente de los RVI teniendo en cuenta los distintos cultivos habituales en la zona y la superficie de invernaderos real, para finalmente estimar si hay suficiente biomasa para el funcionamiento de la planta gasificadora. Posteriormente, se buscó la ubicación idónea para la planta mediante la utilización de técnicas SIG (Sistema de Información Geográfica), primero obteniendo zonas posibles, en función de la distancia a vías de comunicación principal y distancias a líneas eléctricas de alta tensión, en segundo lugar eliminando aquellas zonas que tienen algún tipo de restricción, y finalmente evaluando las soluciones restantes con criterios de proximidad a determinados recursos como hidrología superficial, núcleos de invernaderos etc.

2.2 Marco legal.

La elaboración del estudio de evaluación de eficiencia de producción en la instalación de la planta de compostaje del distrito de San Jeronimo, se realizó en conformidad con la base legal aplicable la cual se detalla a continuación:

2.2.1 Constitución Política del Perú (1993).

En el Título I. Capítulo I.) Derechos fundamentales de la persona. Art. 22°; se menciona: A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

2.2.2 Ley General del Ambiente-Ley N° 28611.

Se publicó el 15 de octubre del 2005. Respecto a la gestión ambiental en las industrias, se indica en el **artículo 11°**, inciso i: El desarrollo de toda actividad empresarial debe efectuarse teniendo en cuenta la implementación de políticas de gestión ambiental y de responsabilidad social.

Así mismo, en el **artículo 66°**, inciso 66.1 se indica... *La prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental.* Es responsabilidad del Estado, a través de la Autoridad de Salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional, contribuir a una efectiva gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas.

En el **Artículo 67°**. - **Del saneamiento básico.** Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan (...), la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.

En el **artículo 75°**, inciso 75.1 se menciona ... El titular de operaciones debe adoptar prioritariamente medidas de prevención del riesgo y daño ambiental en la fuente generadora de los mismos, así como las demás medidas de conservación y protección ambiental que corresponda en cada una de las etapas de sus operaciones, bajo el concepto de ciclo de vida de los bienes que produzca o los servicios que provea, de conformidad con los principios establecidos en el Título Preliminar de la presente Ley y las demás normas legales vigentes.

En el **artículo 76°** se señala... El Estado promueve que los titulares de operaciones adopten sistemas de gestión ambiental acordes con la naturaleza y magnitud de sus

operaciones, con la finalidad de impulsar la mejora continua de sus niveles de desempeño ambiental.

En el **artículo 83°**, inciso 83.1 se indica ... De conformidad con los principios establecidos en el Título Preliminar y las demás disposiciones contenidas en la presente Ley, las empresas adoptan medidas para el efectivo control de los materiales y sustancias peligrosas intrínsecas a sus actividades, debiendo prevenir, controlar, mitigar eventualmente, los impactos ambientales negativos que aquellos generen. En el punto 83.2 se menciona ... El Estado adopta medidas normativas, de control, incentivo y sanción, para asegurar el uso, manipulación y manejo adecuado de los materiales y sustancias peligrosas, cualquiera sea su origen, estado o destino, a fin de prevenir riesgos y daños sobre la salud de las personas y el ambiente.

En el **Artículo 119°**. - **Del manejo de los residuos sólidos**, 119.1. La gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. Por ley se establece el régimen de gestión y manejo de los residuos sólidos municipales.

2.2.3 Ley N° 27314: Ley General de Residuos Sólidos.

En el Perú, la normatividad que regula el manejo de estos desechos es la “Ley General de Residuos sólidos” (Ley N° 27314), la cual indica principalmente lo siguiente:

Artículo 3: Finalidad. La gestión de los residuos sólidos en el país tiene como finalidad su manejo integral y sostenible, mediante la articulación, integración y compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de quienes intervienen en la gestión y el manejo de los residuos sólidos, aplicando los lineamientos de política que se establecen en el siguiente artículo.

Artículo 4°: La gestión y manejo de los residuos sólidos se rige especialmente por los siguientes lineamientos de política, que podrán ser exigibles programáticamente, en función de las posibilidades técnicas y económicas para alcanzar su cumplimiento:

1° Desarrollar acciones de educación y capacitación para una gestión de los residuos sólidos eficiente, eficaz y sostenible.

2° Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos, a través de la máxima reducción de sus volúmenes de generación y características de peligrosidad.

5° Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado.

6° Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.

7° Promover el manejo selectivo de los residuos sólidos y admitir su manejo conjunto, cuando no se generen riesgos sanitarios o ambientales significativos.

12° Fomentar la generación, sistematización y difusión de información para la toma de decisiones y el mejoramiento del manejo de los residuos sólidos.

13° Definir planes, programas, estrategias y acciones transectoriales para la gestión de residuos sólidos, conjugando las variables económicas, sociales, culturales, técnicas, sanitarias y ambientales.

Artículo 10.- Municipalidades distritales. 10.1. Las municipalidades distritales son responsables por la prestación de los servicios de recolección y transporte de los residuos sólidos indicados en el artículo anterior y de la limpieza de vías, espacios y monumentos públicos en su jurisdicción. Los residuos sólidos en su totalidad deberán ser conducidos directamente a la planta de tratamiento, transferencia o al lugar de disposición final autorizado por la Municipalidad Provincial, estando obligados los municipios distritales al pago de los derechos correspondientes.

Artículo 13°. Disposiciones generales de manejo: El manejo de residuos sólidos realizado por toda persona natural o jurídica deberá ser sanitaria y ambientalmente adecuado, con sujeción a los principios de prevención de impactos negativos y

protección de la salud, así como a los lineamientos de política establecidos en el Artículo 4.

2.2.4 D.S. N° 016 – 2012 – AG. Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario.

Artículo 27°.- Gestión de los residuos de las actividades agrícolas.

27.1 Los restos vegetales de cultivos o cosecha, pueden ser reaprovechados (...). El compostaje es una opción de valorización para los residuos agrícolas donde estos restos vegetales se usan como estructurantes de aporte de carbono, para el buen funcionamiento del proceso de compostaje, también puede usarse como biocombustibles.

Artículo 28°.- Gestión de los residuos de establecimientos avícolas.

- (...) las actividades de tratamiento pueden ser realizadas a través de una EPS-RS autorizada para el compostaje. La Planta de tratamiento y/o reprocesamiento de los animales descartados, órganos, plumas, sangre o productos no aptos para el consumo humano, deberá estar por lo menos a 1 Km de distancia de las actividades productivas del generador y a no menos de 2 km en el caso de que esta actividad sea realizada por una EPS-RS o una EC-RS.
- 28.1 Residuos de Planta de Incubación Los restos como aves desechadas, huevos rotos, huevos no nacidos de las plantas de incubación de aves, pueden ser utilizados como un sustrato para el proceso de compostaje (...).
- 28.2 Residuos de Granjas Avícolas. (...) La mejor opción de tratamiento para la gallinaza es el compostaje. El manejo y almacenaje de la gallinaza debe realizarse bajo el concepto de buenas prácticas agrarias, (...).

Artículo 30°.- Gestión de los residuos agroindustriales de competencia del Sector Agrario.

Los residuos de frutas y hortalizas que se producen ya sea en el almacenaje, conservación y transformación, no elaborable o consumible, pueden ser comercializados, por empresas comercializadoras debidamente registradas ante la

Autoridad de Salud, o a otro generador, donde el residuo sea directamente reaprovechado en su proceso productivo. Las principales opciones de valorización, son de alimentación de animal o compostaje.

Artículo 31°.- Gestión de los residuos generados en la transformación primaria de los productos forestales y diferentes a la madera.

Los residuos como el aserrín y virutas limpias, pueden ser reaprovechados como insumos para la industria de briquetas, tableros contrachapados, pellets de madera y celulosa. En el caso de aserrín y virutas mezcladas con otras sustancias inocuas que no lo clasifique como material peligroso, pueden ser tratados mediante el proceso de compostaje. Los residuos de corteza, pueden ser reaprovechados como combustible, material de relleno en suelos rurales y para cercos rurales

2.3 Marco conceptual.

2.3.1 Acuífero.

Formaciones geológicas, o porciones de ellas, capaces de ceder aguas subterráneas en cantidades significativas, ya sea por afloramiento de manantiales o por extracción mediante pozos. Los acuíferos pueden surgir del nivel del suelo, o también nacer en las laderas o paredes laterales de los cerros, producto de las aguas que se filtran en determinadas épocas.

2.3.2 Botadero.

Acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria. El botadero de basura es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. Se le llama botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos

lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos. Los botaderos de basura a cielo abierto son cuna y hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades. En ellos se observa la presencia de perros, vacas, cerdos y otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona, especialmente para las familias de los segregadores que sobreviven en condiciones infrahumanas sobre los montones de basura o en sus alrededores.

La segregación de subproductos de la basura promueve la proliferación de negocios relacionados con la reventa de materiales y el comercio ilegal. Ello ocasiona la depreciación de las áreas y construcciones colindantes; asimismo, genera suciedad, incremento de contaminantes atmosféricos y falta de seguridad por el tipo de personas que concurren a estos sitios.

2.3.3 Biogás.

Conjunto de gases compuestos mayormente por el gas metano, que se genera al interior de la masa de residuos por la descomposición de la materia orgánica. El biogás se refiere típicamente a una mezcla de diferentes gases de producidos por la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El biogás puede producirse a partir de materias primas como los residuos agrícolas, estiércol, residuos urbanos, material vegetal, aguas residuales, residuos verdes o residuos de alimentos. Es una fuente de energía renovable y en muchos casos ejerce una muy pequeña huella de carbono.

El biogás puede ser producido por la digestión anaeróbica con bacterias anaeróbicas, que digieren material dentro de un sistema cerrado, o la fermentación de materiales biodegradables. (Andrade, 2011, pag. 11) El biogás es principalmente metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) y puede tener pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S), la humedad y siloxanos. Los gases de metano, hidrógeno, y monóxido de carbono (CO) se puede quemar u oxidar con oxígeno. Esta liberación de energía permite biogás para ser utilizado como combustible; que puede ser utilizado para cualquier propósito de calentamiento, tal como cocción. También se puede utilizar en un motor de gas para convertir la energía en el gas en electricidad y calor.

El biogás puede ser comprimido, de la misma manera el gas natural se comprime a GNC, y se utilizan para poder vehículos de motor. En el Reino Unido, por ejemplo, se estima biogás tener el potencial de reemplazar alrededor del 17% de combustible para vehículos. Se califica para renovables subsidios a la energía en algunas partes del mundo. El biogás se puede limpiar y adaptarse a las normas de gas natural, cuando se convierte en biometano.

2.3.4 Coberturas de servicio de saneamiento público.

El barrido es el nivel de atención de servicios en un núcleo poblacional, calculado como la relación entre la extensión de vías barridas y la extensión total de vías pavimentadas, expresado en porcentaje. Excepcionalmente se podrá tener en cuenta vías no pavimentadas de zonas rurales.

El servicio de recolección de residuos en un núcleo poblacional, calculado como la relación entre la cantidad de residuos recogidos y la cantidad total de residuos generados, expresado en porcentaje, considerando las necesidades: camiones, tolvas, contenedores, personal, etc.

El servicio de transferencia de residuos en un núcleo poblacional, calculado como la relación entre la cantidad de residuos transportados a una estación de transferencia o centro de acopio y la cantidad total de residuos recolectados, expresado en porcentaje.

El servicio de disposición final de residuos en un núcleo poblacional, calculado como la relación entre la cantidad de residuos llevados a un lugar de destino final (relleno sanitario, relleno controlado, vertederos a cielo abierto, cursos de agua) y la cantidad total de residuos generados, expresado en porcentaje.

2.3.5 Composteo.

Es el proceso en el que se procede a realizar la descomposición de la materia orgánica por microorganismos en un ambiente con condiciones controladas, facilitando un incremento de la temperatura (entre 55° y 60° C) para destruir los patógenos. Los niveles de oxigenación y humedad de este proceso también son controlados para reducir la eventual producción de malos olores. Durante el

proceso, la materia orgánica es degradada hasta un humus con excelentes propiedades para el suelo, con un pH de 6.5 a 8, que favorece el crecimiento saludable de las plantas y tiene la capacidad de retención de agua. La composta se puede obtener mediante la descomposición de la materia orgánica en condiciones aerobias o anaerobias.

La descomposición aerobia es más utilizada que la anaerobia, debido a que esta última genera olores desagradables y requiere infraestructura y conocimientos técnicos especializados; se lleva a cabo en contenedores sellados que permiten la recuperación y uso del biogás que se genera en el proceso de descomposición de los residuos. Por el contrario, el compostaje en condiciones aeróbicas registra un incremento espontáneo en la temperatura que favorece la descomposición de la materia orgánica, elimina microorganismos patógenos y no libera olores.

2.3.6 Manejo de residuos sólidos.

Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final. El manejo es el conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se aplica a todas las etapas del manejo de residuos sólidos desde su generación, basándose en criterios sanitarios ambientales y de viabilidad técnica y económica para la reducción en la fuente, el aprovechamiento, tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos.

Existen muchos modelos para el manejo de residuos sólidos, por lo tanto, es importante realizar un censo detallado de la población, para elegir el modelo más adecuado y que presente los mejores resultados. Las mayores prioridades de la administración municipal en lo que respecta al manejo de residuos sólidos urbanos deben ser:

- A. Dar un destino final adecuado a los residuos sólidos urbanos evitando desequilibrios ambientales.

- B. Instalar una planta de reciclaje y reaprovechamiento de residuos sólidos urbanos y dar un tratamiento adecuado a las basuras, teniendo en cuenta aspectos ambientales y económicos.
- C. Adelanta campañas y programas educativos, encaminados a concientizar a la población sobre el aseo en zonas públicas, disminución de la generación de basuras y promoción de la colecta selectiva.

La colecta selectiva consiste en que la misma población separa residuos secos (materiales reciclables) de residuos húmedos (materia orgánica) y la administración municipal realiza la colecta en días alternados para residuos secos y húmedos. La selección de los residuos sólidos presenta las siguientes ventajas:

- a) Aprovechamiento al máximo del potencial de residuos seleccionados.
- b) Disminución en la producción de materiales que no se pueden reciclar
- c) Facilita la separación de materiales reciclables que se puedan comercializar fácilmente.
- d) Brinda la posibilidad de generación de empleo y mejoramiento de ingresos, con la conformación de asociaciones de recolectores y recicladores.
- e) Mejora el aseo en zonas públicas.
- f) Reduce los gastos públicos al hacer una colecta programada.

2.3.7 Contaminación.

Estado en el que por la modificación o alteración de las características químicas, físicas y biológicas de un ambiente o entorno se modifican o afectan los organismos y en especial la humana.

La contaminación ambiental es el daño al ambiente por la presencia de sustancias extrañas que saturan y afectan a los organismos, estos son excesos que lo modifican y que son capaces de causar consecuencias nocivas para la salud humana y el equilibrio natural.

Existe la contaminación biológica producida por organismos vivos indeseables en un ambiente, presencia de bacterias, virus o micro hongos, los cuales pueden generar diferentes enfermedades, también del agua, del suelo, del aire, para cada caso existen una serie de alteraciones de carácter físico, químico o biológico.

2.3.8 Gestión de residuos sólidos.

Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos en el ámbito nacional, regional o local. La gestión comprende el manejo de residuos sólidos, que es toda actividad técnica de residuos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final; que implica también el reciclaje como actividad mediante la cual determinados residuos sólidos provenientes de los servicios de aseo urbano son separados, recogidos, clasificados y procesados para reincorporarlos a un ciclo doméstico, comercial o industrial, dentro del cual existen el reciclaje formal que es realizado directamente por el organismo encargado del servicio municipal de aseo urbano y/o por una empresa debidamente autorizada y el informal que es realizado por segregadores en áreas públicas o lugares de disposición final. Esto implica el manejo de diversos tipos de residuos sólidos como:

- A. Comerciales, que son residuos sólidos o semisólidos generados en establecimientos comerciales y mercantiles, de bienes y servicios, tales como: almacenes, supermercados, bancos, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías, entre otras actividades comerciales análogas; o
- B. Domésticos, que son generados en los domicilios de la población;
- C. Especiales, que, por su cantidad, volumen, peso y/o características requieren un manejo especial. Incluyen a los residuos de los establecimientos de salud (productos químicos y fármacos caducos), alimentos con plazos expirados, desechos de establecimientos que utilizan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados (muebles,

colchones, artefactos electrodomésticos, autos abandonados, hormigón, asfalto, neumáticos), o

- D. Hospitalarios, que son los desechos generados en los centros de atención de salud durante la prestación de servicios asistenciales, incluyendo los generados en los laboratorios. Incluye los peligrosos que son desechos generados durante las diferentes etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunizaciones, investigaciones, etc.) que contienen patógenos. Representan diferentes niveles de peligro potencial, de acuerdo al grado de exposición que hayan tenido con los agentes infecciosos que provocan las enfermedades, o
- E. Industriales; que son los generados como resultado de los procesos de producción industrial, incluyendo el mantenimiento de equipos e instalaciones de la industria; o
- F. Los residuos pueden ser orgánicos (cuando son biodegradables) o inorgánicos (cuando no son biodegradables), al hacer referencia a los municipales, que casi son todos los mencionados anteriormente, pues son el producto de las actividades urbanas en general. Puede ser de origen residencial o doméstico, comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros, y sobre los que tiene responsabilidad la municipalidad.

Existen residuos inocuos, dañinos, nocivos y peligrosos, estos últimos son los que tienen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o patógenas, pueden representar un riesgo sustancial real o potencial para la salud humana o el ambiente, cuando su manejo es inadecuado.

2.3.9 Lixiviado.

Es el líquido que contienen los residuos, especialmente la materia orgánica, que se acumula en la masa de residuos dispuestos y que tiende a aflorar por las partes más bajas del relleno sanitario. Este es producto de una percolación de un fluido a través de un sólido. El lixiviado generalmente arrastra gran cantidad de los compuestos presentes en el sólido que atraviesa.

El término lixiviado se usa en casi todas las ciencias ambientales, siendo su uso más general el que corresponde al lixiviado de los depósitos controlados, por lo que generalmente se asocia el término lixiviado a los líquidos que se gestionan en los depósitos controlados de residuos. Una adecuada gestión del lixiviado se debe centrar primeramente en minimizar todas las fuentes de líquidos que puedan entrar en contacto con el residuo y, una vez que este contacto agua-residuo ya se ha producido y, por tanto, se ha generado lixiviado, en recogerlo y conducirlo a un punto, balsa o depósito de almacenamiento previo a su posterior tratamiento.

2.3.10 Minimización.

Acción de reducir al mínimo posible el volumen y peligrosidad de los residuos sólidos, a través de cualquier estrategia preventiva, procedimiento, método o técnica utilizada en la actividad generadora. Esta implica esfuerzos para utilizar menos recursos y uso de energía durante la fabricación, se logra lo mismo. Con la menor cantidad de material usado conlleva a una menor cantidad de residuos producidos. Para poder minimizar se requiere conocer cómo se desarrolla la producción, siguiendo el proceso desde la extracción hacia su vuelta a la tierra y conocer detalladamente la composición del residuo.

2.3.11 Municipios saludables.

Un municipio comienza ser saludable cuando sus líderes políticos, organizaciones locales y ciudadanos se comprometen y dan inicio al proceso de mejora continua y progresiva de las condiciones de salud y el bienestar de todos sus habitantes formando y fortaleciendo un pacto social entre las autoridades locales, las organizaciones comunitarias y las instituciones del sector público y privado, esta es una propuesta del Ministerio del Ambiente y del Ministerio de Salud, que el MINAM explica:

Un Municipio Saludable es aquel en el que sus autoridades, instituciones, organizaciones públicas y sociedad civil, se esfuerzan por mejorar las condiciones de vida, vivienda, educación, alimentación, trabajo y cultura de la población, en relación armoniosa con su entorno, fortaleciendo lazos de solidaridad y equidad.

Los Municipios Saludables contribuyen a crear condiciones favorables para desarrollar acciones de Promoción de la salud a partir del compromiso de los alcaldes, autoridades regionales y de otros sectores públicos de la localidad con la finalidad de generar comunidades saludables mediante políticas públicas saludables e insertar la salud en las agendas públicas. ¿Cuáles son las características de un Municipio Saludable?

- Un medio ambiente físico de calidad, limpio y seguro.
- Un ecosistema estable y conservable.
- Una comunidad participativa, fuerte y solidaria.
- La cobertura de las necesidades básicas.
- Relación y comunicación entre diferentes sectores.
- Una economía variada y dinámica.
- Nexos culturales, históricos y biológicos fuertes.
- Servicios de salud óptimos y accesibles.
- Buen estado de salud en la comunidad.
- Decisión política por buscar salud y bienestar.

Se aprecia entonces que la municipalidad o la comunidad deben asumir la responsabilidad que le corresponde para poder garantizar la salud de los que viven o moran en el lugar.

2.3.12 Planificación local participativa.

Herramienta que permite a las personas y comunidad conocer su realidad, y explicársela en conjunto, a la vez que sentirse capaces de actuar sobre ella. Implica un proceso continuo de involucramiento, programación de acción, ejecución y evaluación.

2.3.13 Patógenos.

Microorganismos que pueden enfermar al ser humano. Un patógeno o agente biológico patógeno es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predispuestas a las ocasiones mencionadas. Cualquier proceso patógeno que se precie de tal ostenta diversos factores, algunos que pueden ser absoluta responsabilidad del hospedador y otros que se deberán a la concreta y

directa acción del elemento dañino o patógeno. Por un lado, nos encontramos a los factores intrínsecos de exclusiva propiedad del hospedador como ser la herencia genética, su inmunología, condiciones fisiológicas, edad, sexo, enfermedades preexistentes y su estilo de vida y comportamiento, entre los más importantes.

2.3.14 Reciclaje.

El reciclaje es un proceso por el cual se recupera de manera parcial o total la materia prima que es reutilizable por un producto ya elaborado.

Es necesario reciclar para reaprovechar lo que el desenfrenado consumismo trae en estos últimos tiempos, los profundos cambios sociales que ha producido la producción desmedida, puesto que los estilos de vida de occidente y occidentalizado ha generado “necesidades” que han impulsado la desmedida generación de residuos y estos residuos requieren de especial atención, surgiendo toda una variedad de productos elaborados y diseñados para el consumo individual. Una gama de paquetes, plástico, cartones, envases desechables, son para atender las necesidades básicas como comer, vestirse o asearse son procesos que generan cada vez más kilos de basura.

A ello se debe sumar campañas intensivas de educación en el reciclaje, una adecuada gestión de residuos y cambios culturales que desincentiven el uso de productos desechables, esos países alcanzarán rápidamente a sus vecinos en niveles de industrialización y de basura.

El sentido de reaprovechamiento de los residuos sólidos mediante un proceso de transformación para cumplir su fin inicial u otros fines. Volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuos sólidos. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización.

Toda actividad que permita reaprovechar partes de sustancias o componentes que constituyen un residuo sólido.

2.3.15 Relleno sanitario.

Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población, los rellenos son controlados, cuando en el lugar donde se efectúa la disposición final de los residuos sólidos, que vertedero controlado no cuenta con la infraestructura propia de un relleno sanitario, pero donde se dan las condiciones mínimas para la compactación y cobertura diaria de los residuos; el relleno es de seguridad si la instalación para la disposición final adecuada de los residuos peligrosos, que cuenta con sistemas de impermeabilización, de manejo de gases y lixiviados, entre otros, con el fin de garantizar un confinamiento seguro de dichos residuos. / Este es el vertedero final de los desechos, incorrectamente llamado basura, dentro de este se dan los procedimientos y medidas para minimizar los efectos contaminantes de los residuos sólidos, evitando su mala disposición en tiraderos, entre esas medidas el análisis de impacto ambiental, económico y social desde la planeación y elección del lugar hasta la vigilancia y estudio del lugar en toda la vida del vertedero.

2.3.16 Residuos sólidos.

Todo material, que luego de ser utilizado es descartado, y se considera que no puede seguir siendo utilizado para el fin que fue destinado se considera un residuo sólido, el mismo que al no ser utilizado se considera un desecho, será inservible cuando ya no se le encuentre uso es basura, pero mientras pueda ser reusado o reciclado será un residuo sólido, su aprovechamiento depende del manejo objetivo que se brinda a los residuos. En cuanto son definitivamente desechados estos pueden ser eliminados: pulverizados, incinerados, enterrados o encapsulados, o se pueden reciclar con lo que se les brinda un segundo uso. En resumen, son residuos sólidos, aquellos desperdicios que han sido descartados por la población y deben ser reciclados o dispuestos al basurero, tiradero o relleno sanitario.

Se emplea de igual manera para definir a aquellos que se generan en los núcleos urbanos y sus zonas de influencias. Los domicilios particulares (casas, apartamentos, etc.), las oficinas y las tiendas son algunos de los productores de residuos sólidos urbanos.

Todo bien que fue usado y no ha sido destruido puede ser reutilizado siempre que se conserven ciertas normas técnicas, algunos no tienen la misma disponibilidad, puesto que su reutilización puede ser nociva para el medio ambiente.

2.3.17 Residuos sólidos orgánicos.

Estos son los residuos que se pueden degradar fácilmente, es decir que son desechados, y se originan del consumo de alimentos orgánicos, por lo que pueden ser grasas animales, desechos de pieles o membranas de animales, residuos de vegetales, cáscaras, desechos de comida orgánica, cierto tipo de papeles, todos ellos por su característica de poder desintegrarse o degradarse y ser compostados, es decir su reuso sería obtener sustancias nutritivas (compost) o energéticas (biogás). Son orgánicos en cuanto en todo el proceso no hayan intervenido otras sustancias o sustancias químicas.

2.3.18 Saneamiento ambiental.

Servicios o sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales, excretas u otros desechos, es la acción efectiva por la que se dispone y se determina el control de los agentes contaminantes y que sobre todo puedan afectar la salud de las personas, el saneamiento ambiental es el conjunto de acciones, técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental. Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales, los residuos orgánicos tales como las excretas y residuos alimenticios, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación. Tiene por finalidad la promoción y el mejoramiento de condiciones de vida urbana y rural.

2.3.19 Segregador.

Persona que se dedica a la recuperación y venta de materiales desechados para su reuso o reciclaje. También conocido con el nombre de ciruja, pepenador, cachurero, reciclador, catador, buzo, entre otros.

2.3.20 Servicios de aseo urbano.

Servicios demandados por un núcleo poblacional (áreas urbanas, periurbanas y rurales de diferentes tamaños y complejidades), relacionados con la limpieza de vías y áreas públicas, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos o semisólidos municipales.

2.3.21 Servicios especiales.

Servicios prestados a un núcleo poblacional, adicionales a los servicios comunes de aseo urbano, tales como la limpieza de playas, recolección de escombros y de malezas, conservación de parques y jardines y lavado de calles y plazas u otros.

Servicio municipal directo El municipio tiene a su cargo la planificación y la ejecución de todas las etapas del sistema de manejo de residuos sólidos (barrido, recolección, transferencia, transporte, disposición final).

2.4 Marco teórico.

2.4.1 Compostaje de los Residuos Sólidos Orgánicos.

2.4.1.1 Definición.

La palabra compost viene del latín *componere*, juntar; por lo tanto, compost es la reunión de un conjunto de restos orgánicos que sufre un proceso de fermentación y da un producto de color marrón oscuro, y con olor a humus.

El compost madurado es estable, es decir, que en él el proceso de fermentación está esencialmente finalizado. Este abono orgánico resultante contiene materia orgánica (parte de la cual es semejante al humus de la tierra) así como

nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro, y otros oligoelementos necesarios para la vida de las plantas. Es un producto con vida, con gran densidad y variedad de microorganismos que sintetizan enzimas, vitaminas, hormonas, etc. y que repercuten favorablemente en el equilibrio biótico del suelo.

Según Andrés A. Sáenz Olivares, tesista de optimización de los métodos para mejorar la calidad del compost de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos Transcribe un texto "El compost como factor determinante para una mejor producción agraria" Boletín de Información del Medio Ambiente (BIMA) N°2 de abril-junio de 1982: "Debido a su materia orgánica y al humus que se deriva de ella, el compost posee la facultad de enmendar las características físicas del suelo: contribuyendo a la estabilidad de las estructuras de sus agregados (los suelos compactos se sueltan bajo la acción de la materia orgánica y los suelos arenosos se compactan por la misma acción); aumentando su capacidad de retención de agua, lo que le confiere resistencia ante la sequía, mejorando su porosidad, lo que facilita su aireación y, por tanto la respiración de las raíces; y aumentando la infiltración y la permeabilidad del suelo al mejorar la estructura del terreno".

2.4.1.2 Acción química del compost.

La acción química del compost se manifiesta por su capacidad de intercambio catiónico superior a la de cualquier arcilla. Directamente suministra a las plantas los tres elementos básicos: nitrógeno, potasio y fósforo presentes en él en porcentajes relativamente pequeños pero muy equilibrados, y hace una importante aportación de oligoelementos tales como hierro, manganeso, zinc, boro, molibdeno, cobre, etc., además, por efecto de su oxidación lenta, produce gas carbónico, contribuye a solubilizar algunos elementos minerales del suelo, facilitando su asimilación por las plantas.

La actividad biológica del suelo se ve favorecida por el aporte de un número importante de bacterias que se encuentran en el compost, pero es sobre todo su riqueza en materia orgánica la que favorece el desarrollo de los

microorganismos del mismo suelo, que con su actividad estimulan el crecimiento vegetal. Esta acción biológica favorece la descomposición de los componentes minerales insolubles, y el nitrógeno soluble, que puede desaparecer fácilmente por lixiviación, es transformado en nitrógeno orgánico en el cuerpo de los microorganismos, de forma que cuando éstos mueren, quedan de nuevo disponibles para las raíces de las plantas y mientras tanto es menos probable que se pierdan por lixiviación o como amoníaco en el aire.

Estos son en esencia los efectos positivos, pero no conviene olvidar que, a menudo, algunos abonos orgánicos hechos con basuras son de mala calidad y pueden tener efectos negativos en tierras y cultivos, como los que se citan a continuación:

- **Falta de madurez.**

Si el compost no ha terminado de fermentar, sus microorganismos pueden captar el nitrógeno de la tierra para la fermentación privando de él a las plantas.

- **Materiales inertes.**

Frecuentemente se hallan plásticos y vidrios que ensucian los campos.

- **Metales pesados.**

El compost puede contener proporciones elevadas de metales pesados, sobre todo si se ha mezclado con lodos de depuradora.

2.4.1.3 El proceso de Compostaje.

El proceso de compostaje es un proceso biótico, es decir, llevado a cabo por seres vivos. El compostaje de los residuos sólidos urbanos de la parte orgánica, se lleva a cabo por descomposición termofílica, fermentaciones principalmente aerobias realizada en presencia del oxígeno del aire.

Durante la fermentación hay un consumo de materia orgánica principalmente glúcidos, de lo que se desprende dióxido de carbono (CO₂) y calor.

Los factores ambientales son importantes en la actividad de las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos que participan en el proceso de oxidación influyendo en el desarrollo y velocidad del mismo. En el proceso de fermentación se distinguen las siguientes fases:

- **De latericia y crecimiento.**

Que es el tiempo que necesitan los microorganismos para adaptarse a su nuevo medio y comenzar a multiplicarse. Esta fase puede durar de 1 a 4 días alcanzando una temperatura de más de 50°C.

- **Fase termófila.**

Los microorganismos iniciales son reemplazados por otros que su hábitat les permite vivir a temperaturas altas (termófilos). Es en esta fase la actividad bacteriana es alta y la temperatura oscila entre 50 a 70°C, lo que elimina los gérmenes patógenos, larvas y semillas.

Es en esta fase termófila la mayor parte de la materia orgánica se transforma, por lo que la maza se estabiliza.

- **Fase de maduración.**

Es el periodo de fermentación lenta. Los microorganismos termófilos disminuyen su actividad dando lugar a otros como hongos que continúan el proceso de descomposición, los basidiomicetos degradan la lignina, los actinomicetos descomponen la celulosa. A partir de los componentes orgánicos se sintetizan coloides húmicos, vitaminas, antibióticos, hormonas y otros compuestos que favorecen el desarrollo vegetal.

2.4.1.4 Microbios, organismos descomponedores.

Para lograr éxito con el compostaje, deben mineralizarse los compuestos simples primero. La mineralización significa que las sustancias orgánicas complicadas, se degradan a formas simples no orgánicas, es decir, dióxido de carbono y agua, amonio, fosfato, sulfato, y otros. Este proceso de degradación se lleva a cabo con la ayuda de los microbios. Las partes difíciles de degradar quedarán en el compost por un tiempo más largo y se encontrarán en el producto final, en el compost maduro.

Relación C/N. La necesidad de los microbios de carbono, nitrógeno y energía para poder construir sus propias células es la fuerza que lleva a descomponer la materia orgánica. Aparte de estas necesidades necesitan también otras sustancias minerales, como por ej. Calcio, potasio, fósforo, azufre, magnesio, y hierro. Sustancias que se incluyen en las enzimas y genes.

Tiene gran importancia la velocidad de transformación para que exista un balance entre los clorhidratos (carbono y fuente de energía) y las proteínas (nitrógeno-, carbono y fuente de energía). La repartición entre el acceso al carbono y energía en relación a la disponibilidad del nitrógeno se le denomina "relación C/N". Los microbios "desean" el alimento que necesitan en cantidades suficientes. Al existir un desbalance esto influenciaría en un crecimiento lento y el proceso no podría continuar. Lo que implica además una descomposición lenta de los restos vegetales.

Las células de los microbios tienen una gran capacidad de formar grandes cantidades de enzimas. Una parte de ellas son siempre necesarias, otras enzimas no tanto y se forman a medida que el código genético las activa o las bloquea. Esto ocurre a través de un complicado mecanismo regulador que es una parte importante en el ahorro de los recursos de las células.

Existen grandes moléculas que no se disuelven en agua, como la celulosa, proteínas y la lignina. Para descomponer estas moléculas las células deben utilizar enzimas, que actúan fuera de las células, llamadas "enzimas extracelulares. Las enzimas actúan como catalizadores, es decir, aceleran una reacción química sin que sufran algún cambio, y cuando la célula forma sus

distintos componentes: clorhidratos, proteínas y grasas y otros. Actúan en los procesos de descomposición y en el desprendimiento de energía. Las enzimas son muy específicas y actúan solo cuando existen transformaciones en la molécula. Algunas tienen una gran velocidad de reacción con un pH y temperatura determinada.

2.4.1.5 Demanda de los microbios por la temperatura.

Los diferentes microbios tienen variación de temperaturas. Tres grupos principales se pueden distinguir:

- A. Psicrófilos actúan en una temperatura óptima bajo los 20°C; crecen en forma lenta en 0°C incluso con temperatura más baja, pero no soporta como regla temperaturas mayores de 30 °C.
- B. Mesófilos constituyen el grupo mayor. La temperatura óptima fluctúa entre 20 – 40°C, la máxima 45°C y la mínima 10 – 15°C.
- C. Termófilos, la temperatura óptima sobre 45°C. Algunas formas como las termófilas facultativas pueden crecer en los 55 °C o bien 37°C. En cambio, las termófilas obligadas crecen en los 55°C, pero no en los 37°C. Algunas se desarrollan en los 75°C. Estas termófilas son únicas al crecer en temperaturas que normalmente cambian las propiedades de las proteínas. Las enzimas que se han aislado de las termófilas tienen mayor resistencia a las altas temperaturas respecto de las sustancias de las mesófitas.

2.4.1.6 La acción de la temperatura sobre los microbios.

En una investigación clásica de Inglaterra se investigó que el material compostado antes del proceso de compostaje contenía una gran cantidad de hongos Mesófilos y una cantidad insignificante de termófilos. Los mesófilos dejaron de crecer cuando la temperatura subió sobre los 40°C y los termófilos sobre los 60°C. Ambos grupos murieron durante la fase de máxima temperatura (67°C). Después de esta fase crecieron de nuevo los hongos termófilos cuando la temperatura era alrededor de los 50°C. Los mesófilos aumentaron lentamente cuando la temperatura estaba por debajo de los 50°C.

En este ensayo la temperatura superficial del compost nunca paso de los 40°C. Fue por esto posible para los hongos volver a colonizar el interior del compost cuando la temperatura descendió.

2.4.1.7 Medición de la actividad.

Que se pueda demostrar que un organismo está vivo a alta temperatura y se deje crecer en un sustrato rico alrededor de 20°C o bien 45°C no significa que se reproduzca o lleve a cabo una descomposición de la materia orgánica durante la alta temperatura. Se puede decir con seguridad que sobreviven en forma vegetativa o como esporas. Para saber si realmente realizan un trabajo se debe medir la actividad que realiza. Lo más común es medir el dióxido de carbono que expulsa o el oxígeno que consume.

Otro método para medir la actividad es seguir la rapidez de una sustancia que la célula puede aprovechar como sustrato, absorberla y consumirla. En las medidas de la incorporación de glucosa y acetato en relación con el compostaje las mayores velocidades se observaron entre los 35 – 40°C.

2.4.1.8 Descomposición de la celulosa.

De los clorhidratos (hidratos de carbono) la celulosa es la más abundante en la naturaleza y la parte más importante que forma casi totalmente la membrana envolvente de las células vegetales superiores y alcanzan una tercera parte de su peso seco. Insoluble en agua, alcohol y el éter. Los microbios que descomponen la celulosa son comunes en la tierra, abonos y en el compost. Entre estos existen los que actúan a diferentes temperaturas (mesófilos y termófilos), pH y oxígeno.

La hemicelulosa forma parte de las paredes de la célula de los vegetales y de las diferentes partes. Está íntimamente unida con las otras partes de la célula, por ejemplo: la celulosa, no tiene relación con la celulosa en que aparecen juntas.

Un grupo de hemicelulosa forma la llamada sustancia pectina. Esta se encuentra entre las células y mantiene unidos los tejidos. Aparece en las frutas

en gran cantidad. Cuando la fruta madura la célula "descompone" esta sustancia y la carne de la fruta comienza a soltarse.

La hemicelulosa es fácil de descomponer por los microbios y está entre las primeras en ser atacadas, incluso en los tejidos vivos pueden una parte de los microbios atacar la pectina. Este es un polisacárido, hidratos de carbono formado por la unión de varias moléculas de azúcar, como almidón, celulosa etc. Estas se unen en grandes cadenas, pero en contraste con la celulosa, pueden ramificarse.

2.4.1.9 Biodegradación de los almidones.

Los almidones son la reserva más común de los vegetales, por ejemplo: finitas y granos de cereales. El almidón es fácil de descomponer por los microbios y es ventajoso combinar con un material rico en proteínas para fijar el exceso de nitrógeno.

El almidón químicamente se compone de largas cadenas de glucosa que están fijas, un poco diferente de la celulosa. Además, están fuertemente ramificadas y encogidas en forma de espiral para finalmente formar un grano definido.

2.4.1.10 Descomposición de las grasas.

Grasas o sustancias similares, lípidos, se encuentran en muchas células del crecimiento en animales y vegetales. En los vegetales son comunes en la parte verde como una especie de piel protectora, durante la descomposición de las grasas se separa en forma sucesiva dos grupos carbonados, que posteriormente se incluyen en la transformación de la célula. Las grasas se componen de ácidos grasos relacionados con la glicerina.

2.4.1.11 Degradación de la lignina.

Químicamente la lignina es una complicada estructura. La estructura principal se compone de Fenilpropano, con uniones entre esas moléculas hacia una

mayor molécula en forma muy irregular. La estructura de la lignina puede variar entre especies vegetales. En los vegetales la lignina después de la celulosa y hemicelulosa es la parte más abundante. Forman en los vegetales los tejidos juntamente con la celulosa unidos por la lignina.

Debido a la construcción de las moléculas de la lignina, es difícil para los microbios atacarla. A pesar de esto una cantidad de hongos (Basidiomicetos) están especializados en descomponer la lignina. La degradación de la lignina se lleva a cabo a través de un complicado e incompleto proceso conocido, fuera de la célula para separar la base de su construcción. Una vez transformados a una forma más asequible pueden ser utilizados por otros microbios que no pueden desdoblar la lignina.

2.4.1.12 Producto final, Humus.

Toda la lignina no es descompuesta por los microorganismos, al menos durante el compostaje. Una parte quedara y pasara a ser parte del compost final, de la cual la parte estable es lo que llamamos humus. Este producto es en mayor o menor grado amorfo, que es el producto final después de la degradación microbiana de la materia orgánica. No solamente restos vegetales forman parte de este humus, si no también nuevas uniones y combinaciones de partes especiales, que los microbios han liberado y recombinados de nuevo. Nuevas sustancias se han creado, a la vez que los microbios construyen sus células. Algunas sustancias se encuentran solo en las paredes de las células de los microbios. Estas sustancias también pasan a formar parte del humus.

El humus es una sustancia química no definida. Se puede dividir en varios componentes dependiendo de su solubilidad. Humin es una fracción oscura que no se disuelve en una solución suave alcalina, el ácido-humin no se disuelve en una solución de ácido fuerte. Después de precipitar esas dos soluciones, lo que resta es lo que se llama ácido fúlvico.

El ácido húmico se compone en gran parte de componentes de la lignina reestructurados y de polisacáridos que están protegidos por la estructura de la lignina. Las nuevas partes formadas contienen muchas proteínas. Aquí se

encuentra una parte importante de las reservas de nitrógeno. El ácido húmico es de color café o grisáceo. El ácido fúlvico, puede tener un color amarillo a rojizo que se compone de moléculas menores y contiene al igual que el ácido húmico nitrógeno orgánico fijado. El humin se caracteriza por sus condiciones coloidales lo que le permite fijar iones cargados en su superficie. Por esta razón colaboraran con las partículas de arcillas para distribuir a los vegetales con nutrientes en tal forma que puedan ser absorbidos por estos. La humina puede infiltrarse lentamente en el suelo para así distribuir la materia orgánica en la profundidad y una mayor cantidad de nutrientes inorgánicos pase al ciclo de la circulación.

2.4.2 Parámetros principales

Los principales parámetros que intervienen en el proceso son: la temperatura, humedad, pH (acidez), aireación, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

- A. La temperatura** debido a su facilidad de medición y su directa relación con el proceso de fermentación es el parámetro que más se usa para vigilar el proceso (fermentación). Durante los primeros días se eleva hasta 60 - 70°C, para luego estabilizarse y bajar lentamente hasta 40 - 50°C.
- B. La humedad**, algunos investigadores consideran que la óptima es alrededor de 50% y que al final del proceso bajara hasta 30-40% siendo necesaria para la vida de los microorganismos.
- C. La acidez o pH** es un factor de menor importancia de controlar. Al comienzo suele ser ácido pasando a neutro hacia la mitad del proceso y algo alcalino al final (7-8).
- D. La aireación** es necesaria para garantizar el proceso aerobio, para suministrar oxígeno y para que pueda desprenderse el CO₂.
- E. La relación carbono/nitrógeno (C/N)**, estos dos elementos son esenciales para la nutrición de cualquier organismo y deben de encontrarse en una proporción determinada para una buena fermentación. Los valores de esta

relación han de estar según muchos investigadores entre 25 y 35 para que pueda darse una buena fermentación.

2.4.2.1 Factores que afectan el proceso de compostaje.

El compostaje aerobio consume grandes cantidades de oxígeno. Durante los días iniciales del proceso, los componentes degradables de la materia prima son rápidamente metabolizados. Es por esa razón la necesidad de oxígeno y la producción de calor en esta primera etapa para luego decrecer paulatinamente. Si el oxígeno fuese escaso el proceso sería lento. Un mínimo de la concentración de oxígeno de un 5% entre los poros-espacios del compost es necesario (el aire contiene cerca del 21% de oxígeno). La falta de oxígeno provocaría un proceso anaerobio del material. Una descomposición anaerobia envuelve un tipo diferente de microorganismos y una reacción bioquímica diferente.

A. Nutrientes. Carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K), son los nutrientes primarios requeridos por los microorganismos en el proceso del compostaje. Igualmente, por las plantas, por esa razón la concentración de estos elementos influencia el valor del compost. La ratio que se considera varía un poco en los diferentes países, pero se estima entre 25:1 a 30:1 como ideal en el compost activo, inicialmente, entre 20:1 a 40:1 da buenos resultados. Para muchas aplicaciones, C: N ratios sobre 50:1 y mayores son aceptables.

El carbono disponible es utilizado en su totalidad, sin estabilizar todo el nitrógeno. El exceso de nitrógeno puede perderse hacia la atmósfera como amoníaco u óxido nítrico, lo que podría producir malos olores y causaría un problema. El material con ratios superiores a 40:1 requiere periodos más largos de compostaje para los microorganismos poder usar el exceso de carbono. La ratio del carbono es una guía muy útil al momento de mezclar el compost, en el caso de la paja, al degradarse libera su carbono más fácilmente a los microorganismos que la madera. Esto ocurre porque la madera está fuertemente unida por la lignina, material orgánico que es muy

resistente a la degradación. En cambio, el carbono contenido en los azúcares de la fruta es consumido más rápidamente que el carbono de la celulosa en la paja. Si el carbono fuese difícil de degradar la ratio del proceso puede ser lento. Debido a que la degradación se lleva a cabo en la superficie de las partículas, se podría solucionar reduciendo el tamaño de estas (lo que aumenta la superficie) siempre que la porosidad no ocasione un problema.

- B. Micronutrientes**, necesarios para su nutrición, desarrollo y reproducción de los microorganismos, boro, manganeso, zinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto, aunque en poca cantidad pueden llegar a ser tóxicos a concentraciones muy altas. Estos elementos juegan un papel importante en la síntesis de enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en el mecanismo de transporte intra y extracelular.
- C. Macronutrientes**, como nitrógeno, carbono, y fósforo son fundamentales. El N debido a su calidad de proteína del protoplasma, es esencial para la reproducción celular. No debe estar en exceso, podría pasar a ion amonio y perderse. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como los lípidos, grasa, y carbohidratos. El fósforo, juega un papel importante en la formación de compuestos celulares ricos en energía, necesario para el metabolismo microbiano.
- D. Humedad**. La humedad es necesaria para soportar el proceso metabólico de los microbios. El agua proporciona el medio para las reacciones químicas, los transportes de los nutrientes, y permite a los microorganismos desplazarse. En teoría la actividad biológica es óptima cuando los materiales están saturados. Esto cesa por debajo del 15% de humedad. En la práctica el compostaje debería mantenerse entre 40-65 % de humedad.

Las experiencias y ensayos han demostrado que el proceso se inhibe alrededor del 40%, por debajo de esta cifra la actividad microbiana continua lentamente. Por sobre el 65% de humedad el agua desplaza el aire

de los poros, limitando el movimiento del aire creando condiciones anaerobias. La humedad decrece durante el proceso, la humedad inicial debería ser por sobre el 40%. Una regla usada para saber el contenido de la humedad en forma rápida es al tomar el compost en el puño y si escurre el agua es muy húmedo, caso contrario al no sentir humedad sería muy seco. La humedad entre 40 y 65% es una recomendación general que serviría para la mayoría de los materiales. El límite aceptable depende de la porosidad y absorción de la materia prima.

2.4.2.2 Porosidad, estructura y textura.

Están relacionadas con las propiedades físicas del material, así como el tamaño de las partículas, formas, y consistencia. Estas propiedades afectan el proceso por la influencia en la aireación. Esto se puede corregir seleccionando la materia prima, reduciéndola o mezclándola. Este material adherido para corregir se llama enmienda o "bulking agents".

- A. Porosidad** es una medida del espacio del aire en la masa del compost y determina la resistencia al flujo del aire. Está determinado por el tamaño de la partícula, el tamaño de la gradación de los materiales, y la continuidad de los' espacios aireados. Partículas grandes más uniformes aumentan la porosidad.
- B. Estructura** se refiere a la rigidez de las partículas, es decir, la propiedad de resistir asentamientos y compactación. Una buena estructura previene la perdida de la porosidad en la masa del compost.
- C. Textura** es la característica que describe el área de superficie disponible para la actividad microbiana. La principal descomposición aerobia ocurre en la superficie de las partículas, puesto que el oxígeno se mueve como un gas a través de los espacios porosos, pero mucho más lento a través del líquido y la parte sólida de las partículas. Una población de microorganismos aerobios se instala en la capa líquida alrededor de la superficie de las partículas.

Para la mayoría de la materia prima y compostaje una porosidad y estructura aceptable se pueden obtener si la humedad es inferior a 65 %. El compost que no necesita ser volteado necesita más estructura y partículas mayores para evitar el compactamiento. Materiales con olor extremo podrían ser mezclados con materiales más rígidos para una mejor porosidad y obtener mejor aireación.

2.4.3 Sistemas o métodos de compostaje (formas técnicas).

El objetivo principal en cualquier sistema o método de compostaje, es la obtención de un producto estable y limpio de microorganismos patógenos. El fin es conseguir un grado de aireación óptimo y lograr las temperaturas necesarias para la destrucción de los patógenos ya sea en forma simultánea o sucesivamente. Debo mencionar que lo más importante es el contenido en nutrientes en cualquier tipo de compost, además de lo ya expuestos en capítulos anteriores sobre las cualidades de este abono orgánico y enmendador de suelos.

En general se podría decir que los diferentes procedimientos de compostaje existentes no son más que "variaciones tecnológicas o comerciales de un mismo método. Se distinguen dos grandes categorías de sistemas de compostaje para el caso de residuos sólidos urbanos: los sistemas abiertos (en pilas al aire libre) y los sistemas cerrados (en fermentadores), aunque existen plantas cerradas que utilizan la combinación de un "tambor" o reactor donde el material permanece entre 3 o 4 días para luego bajo techo o en recintos cerrados se dejan en pilas, este sistema se le podría llamar "mixto". El factor en que más se incide es el suministro de oxígeno por esa razón los sistemas de compostaje se dividen en sistema abierto, sistema cerrado y mixto.

a. Sistema abierto:

- Apilamiento estático
- Apilamiento con volteo
- Apilamiento con volteo y aire forzado

b. Sistema cerrado:

- Reactores verticales
- Reactores horizontales

2.4.3.1 El sistema de apilamiento estático.

Elimina la necesidad de voltear para airear el material del compost. Esto permite un control exacto del oxígeno, así como otros parámetros como la humedad y temperatura. Este sistema es usado en USA, con este sistema con un flujo de aire de $0,2 \text{ m}^3/\text{minuto}/\text{tonelada}$ es suficiente para proveer una concentración de oxígeno del 15% para un compost de lodos de depuradoras y virutas de maderas.

2.4.3.2 Apilamiento con volteos.

Este sistema se considera lento y figura entre las prácticas más antiguas, Howard 1931 desarrollo este sistema en Indore (India), técnica que es mundialmente conocida como método Indore o método Howard. Este sistema es simple y fácil de llevar a cabo; la masa se voltea periódicamente con el objeto de introducir el material de la parte exterior al interior y así composta toda la masa por igual. Este sistema da resultados aceptables, a través de la temperatura y la humedad se busca el momento para el volteo. La desventaja principal de este sistema es la oxigenación de la pila, ya que se hace periódicamente con los volteos.

2.4.3.3 Sistema de volteos y ventilación forzada.

La mezcla a composta se voltea y posteriormente se suministra aireación forzada por ventilación. Este proceso ha sido desarrollado casi cerca de 20 años para el compostaje acelerado de los residuos orgánicos. Este proceso se realiza en silos bajo un techo, su longitud varía según los casos, con un mínimo de 4 metros y una permanecía del compost de 2 días, el aire se insufla por la base de cada silo.

Capítulo III

3 Planteamiento metodológico

3.1 Metodología de investigación.

3.1.1 Método de investigación.

El método que se utilizara es el descriptivo, experimental, ya que describe la recopilación de información ya existente acerca del aprovechamiento de residuos orgánicos, ver como se viene dando dicho aprovechamiento y tomar muestras para el seguimiento y control de algunos parámetros del proceso de compostaje en la planta de compostaje el distrito de San Jerónimo.

3.1.1.1 Ubicación geográfica

La planta piloto de compostaje está localizada en la Región de Cusco, Provincia de Cusco, Distrito de San Jerónimo, en la Comunidad de Pícol, al SE de la Ciudad, a 5 km de la plazoleta del Distrito en mención.

El distrito de San Jerónimo se encuentra ubicado en el borde oeste de la cordillera oriental de los andes hacia el sector sur este a 11 kilómetros de la capital de la Provincia del Cusco, con una altitud que varía desde los 3,220 m.s.n.m. en Angustura y hasta los 4,300 m.s.n.m. en Huaccoto.

- Longitud Oeste: 71°72'56''
- Latitud Sur : 13°30'00''
- Altitud mínima: 3,220 m.s.n.m.
- Altitud máxima: 4,300 m.s.n.m.

Figura 1
Ubicación geográfica de la planta piloto de compostaje del distrito de San Jerónimo



Fuente: MD San Jerónimo – Cusco – 2015

3.1.1.2 Procedimiento de tareas para el seguimiento del proceso de compost.

Para realizar el seguimiento al proceso de compostaje, se determina el procedimiento en función a los días de intervención en los compostadores, Los cuales son los domingos, que son los días en que los obreros no laboran en la planta de compostaje y los días lunes, miércoles y viernes, que son los días en que los obreros laboran en la planta.

El operario contara con los equipos de protección personal mínimos de salud ocupacional, los cuales son: guantes, overol, botas y respiradores. Por otro lado el operario deberá contar con una pala para ejecutar la tarea de volteo.

A. Procedimiento de tareas para los días Domingos:

- 1°. Toma y registro de datos de temperatura con termómetro de mercurio con escala de -10 a 250 °C:
 - Introducir el termómetro en el centro del material en descomposición, a la altura de 20 a 25 cm de profundidad.
 - Permanecer el termómetro en el material durante 5 minutos.
 - Registrar los datos en el formato determinado (Ver Anexo B).
 - Expulsar el termómetro del material.
 - Eliminar los residuos orgánicos adheridos introduciendo el termómetro en agua limpia y luego secarlo.

- 2°. Toma de muestras representativas para el análisis de pH y humedad en el laboratorio:
 - Dividir el material en descomposición en 4 partes dentro del compostador.
 - Extraer muestra de 6 g del centro del eje vertical y horizontal de cada parte dividida, formando así una muestra representativa de 24 g.
 - Situar la muestra en una bolsa plástica.
 - Rotular código de representatividad en la bolsa plástica
 - Colocar la bolsa con la muestra dentro de una nevera de icopor

- 3°. Evaluar en el formato determinado (Ver Anexo B) las observaciones referentes al olor, degradación de la materia orgánica y derrame de lixiviados.

- 4°. Con la pala disponible, voltear el material en proceso de descomposición.

- 5°. Repetir el ítem 1 para la toma y registro de temperatura luego del volteo.

6°. Observar el funcionamiento adecuado y el estado físico del sistema de drenaje de lixiviados (tuberías). Verificar si existe algún tipo de obstrucción o rotura.

7°. Repetir todos los ítems para cada compostador.

B. Procedimiento de tarea para los días Lunes, Miércoles y Viernes:

1°. Toma y registro de datos de temperatura con termómetro de mercurio con escala de -10 a 250 °C:

- Introducir el termómetro en el centro del material en descomposición, a la altura de 20 a 25 cm de profundidad.
- Permanecer el termómetro en el material durante 5 minutos.
- Registrar los datos en el formato determinado (Ver Anexo B).
- Expulsar el termómetro del material.
- Eliminar los residuos orgánicos adheridos introduciendo el termómetro en agua limpia y luego secarlo.

2°. Evaluar en el formato determinado (Ver Anexo B) las observaciones referentes al olor, degradación de la materia orgánica y derrame de lixiviados

3°. Observar el funcionamiento adecuado y el estado físico del sistema de drenaje de lixiviados (tuberías). Verificar si existe algún tipo de obstrucción o rotura

4°. Repetir todos los ítems para cada compostador.

3.1.1.3 Estudio de factibilidad

A continuación, se presenta las factibilidades que permitirán determinar dar confiabilidad y validez a la hipótesis planteada.

1. Factibilidad técnica.

Para designar las medidas de cada compostador para el presente proyecto, se tomó en consideración la información de la Tabla 1. Se observa en el contenido que, para los autores, la diferencia entre el ancho y alto de la compostera es igual o menor a 1. Es por ello, se concluye, que la relación entre el ancho y el largo de una compostera nunca superara la unidad, es decir, al realizar la resta entre las magnitudes se debe obtener un número menor o igual a 1, para mantener una relación aproximada de 1:1.5

Tabla 1
Relación ancho – alto de los compostadores

Autor	Ancho (m)	Alto (m)	Relación (m)
A	0.9	1.1	0.81
B	1.5	1.5	1
C	1	1.5	0.66
D	1	1.5	0.66

Fuentes:

- A. RUEDA PEÑA, Paula Andrea. FUNDASES. Fundación de Asesorías para el Sector Rural. Compostaje con EM. Bogotá 2005.
- B. BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Experiencias de Campo. Bogotá. 2002.
- C. BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Convenio Andrés Bello. CAB. Bogotá. 2003.
- D. EM RESEARCH ORGANIZATION (EMRO). Manual de Usos EM, agricultura, acuicultura y producción animal. Bogotá, Colombia. 2005.

En función a la tabla 1, las medidas de los compostadores que se construyeron para este proyecto son: 0.35 m de ancho, 0.45 de alto y 0.50 m de largo. Es así que se cumple con el rango de la relación entre el ancho y el alto de los compostadores propuesta por todos los autores de la Tabla 1, los cuales varía de 0.66 a 1. Cabe mencionar que también se tomó el criterio de guardar orden en el lugar de operación, al definir las dimensiones de los cajones destinados para los compostadores.

Por otro lado, se tomó en cuenta los parámetros de la Tabla 2. Todos ellos utilizados en el compostaje para el proyecto de estudio.

Tabla 2
Parámetros de compostaje

Parámetros	Datos
C/N	15/1 - 35/1
Humedad	30% - 60%
Dimensiones	$a/h \leq 1$
Volteo	7 días
Tamaño de partículas	3 - 6 cm

Fuente: FAO, 1991

La temperatura y el pH varían según la fase en la que se encuentre el proceso de compostaje. La Tabla 3 indica las variaciones de estos parámetros con las diferentes etapas:

Tabla 3
Fases del compostaje – temperatura y pH

Fase	Temperatura	pH
Mesófila	15 °C - 40 °C	4 - 6
Termófila	40 - 65°C	8 - 9
De enfriamiento	15 °C - 40°C	7 - 8
De maduración	T° ambiente	6 - 8

Fuente: FAO, 1991

2. Factibilidad operativa.

A. Generación de residuos orgánicos.

El acopio de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje del distrito de San Jerónimo es de 7 toneladas promedio por día, provenientes de 3 sectores atendidos. Estos sectores comprenden los siguientes:

- **Generación domiciliaria**

Se atiende a tres zonas por criterio de mayor generación de residuos sólidos orgánicos y voluntad social de segregación, son: El Centro Histórico del distrito, Urb. Retamales y el Centro Poblado de Chimpahuaylla.

- **Mantenimiento de las áreas verdes.**

Son los restos procedentes de poda de pastos, plantas, arbustos y árboles del distrito, los cuales también son dispuestos a la Planta de Compostaje.

- **El Mercado Vinocanchón.**

Este sector tiene una alta producción de residuos sólidos, es por ello que es necesario reducir el volumen de residuos generados mediante la segregación de los residuos sólidos orgánicos.

En la Tabla 4 se evidencia la generación de residuos sólidos domiciliarios del distrito de San Jerónimo. Dicha información es materia de evaluación para ayudar a comprender la eficiencia de compostaje en el presente proyecto.

Tabla 4
Generación y caracterización física de residuos sólidos domiciliarios del distrito San Jerónimo

Tipo de residuos sólidos	Generación de Residuos Sólidos Domiciliaria							Total	Composición porcentual
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	
								Kg	%
Materia orgánica	21,38	20,35	19,99	18,86	14,93	20,71	15,81	132,02	58,88
Madera follaje	1,4	1,54	0,54	0,49	0,93	0,95	1,4	7,24	3,23
Papel	0,74	0,76	0,63	1,28	0,76	0,78	0,94	5,88	2,62
Cartón	0,9	0,78	0,7	0,51	0,53	0,92	1,01	5,34	2,38
Vidrio	0,58	0,56	1,16	0,49	0,51	0,68	0,6	4,57	2,04
Plástico pet	1,68	0,88	0,69	1,13	0,69	0,59	0,46	6,1	2,72
Plástico duro	1,15	1,03	0,88	0,89	0,93	1,16	1,21	7,25	3,23
Bolsas	1,69	1,63	1,48	0,78	1,19	1,58	1,31	9,65	4,3
Tetra-pak	0,34	0,49	0,25	0,25	0,19	0,24	0,11	1,88	0,84
Tecnopor y similares	0,14	0,11	0,19	0,31	0,34	0,29	0,29	1,66	0,74
Metal	0,59	0,62	0,69	1,04	0,86	0,61	0,53	4,93	2,2
Telas	1,19	0,24	0,54	0,11	1,16	0,18	0,23	3,65	1,63
Caucho	0,2	0,96	0,33	0,2	0,29	0,09	0,1	2,15	0,96
Pilas	0,05	0,39	0,21	0	0,03	0,05	0,26	0,98	0,44
Restos d medicina	0,05	0,04	0,04	0,03	0,1	0,04	0,08	0,38	0,17
Residuos sanitaria	3,97	2,36	2,99	2,2	3,61	3,03	3,55	21,71	9,68
Residuos inertes	0,78	1,33	1,18	0,94	1,2	0,77	0,9	7,09	3,16
Otros	0,38	0,14	0,18	0,18	0,38	0,26	0,28	1,78	0,79

Fuente: ECRSD 2014, MD San Jerónimo – Cusco

De la Tabla anterior se puede verificar que en promedio de residuos sólidos que más se genera es materia orgánica. En cuanto a la composición física, el 62% es compostificable, el 21% tiene un valor comercial y el 16% no tiene ningún valor (Ver Tabla 5)

Tabla 5
Composición física de RRSS

Valor	%
Compostificable	62,10%
Con valor comercial	21,29%
Sin valor comercial	16,61%
total	100%

Fuente: MD San Jerónimo – Cusco

En la Tabla 6 se evidencia la generación de residuos sólidos del mercado Vinocanchon del distrito de San Jerónimo. Esta información también es materia de evaluación para ayudar a comprender la eficiencia de compostaje en el presente proyecto.

Tabla 6
Composición física de residuos sólidos de mercados del distrito de San Jerónimo

Rubro	Mercado Vinocanchon								
	Día 1 Kg	Día 2 Kg	Día 3 Kg	Día 4 Kg	Día 5 Kg	Día 6 Kg	Día 7 Kg	Promedio	%
Materia orgánica	5,445	6,12	6,818	9,55	7,805	6,07	7,496	7,043	53,02
Madera , follaje	1,545	1,86	0,69	1	1,285	1,425	1,183	1,284	9,666
Papel	1,135	0,19	0,185	0,3	0,175	0,33	0,225	0,363	2,731
Cartón	0,265	1,17	0,835	0,665	0,345	0,295	0,89	0,638	4,802
Vidrio	0,33	0,445	0,065	0,11	0	0	0,207	0,165	1,244
Plástico pet	0,14	0,21	0,375	0,06	0,22	0,595	0,215	0,259	1,952
Plástico duro	0,345	0,665	0,52	1,25	0,5	0,495	0,812	0,655	4,932
Bolsas	0,76	1,57	1,84	1,205	1,655	1,125	1,538	1,385	10,424
Tecnopor y similares	0,75	0,005	0,03	0,025	0,03	0,045	0,02	0,129	0,973
Aluminio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metal	0,045	0,06	0	0,03	0,325	0,275	0,03	0,109	0,823
Tela, textil	0,04	0,005	0,15	0,025	0,005	0,09	0,06	0,054	0,403
Caucho cuero jebe	0,145	0,015	0,265	0,026	0,055	0,5	0,102	0,158	1,192
Pilas	0,095	0	0	0	0,001	0	0	0,014	0,103
Restos de medicina focos , etc.	0	0,005	0	0	0	0	0,002	0,001	0,007
Residuos de servicios higiénicos	0,415	0,545	0,49	0,265	0,155	0,485	0,433	0,398	2,998
Residuos inertes	0,08	0,59	0,45	1,645	0,5	0,225	0,895	0,626	4,715
Tetrapac	0	0,01	0	0	0	0	0,003	0,002	0,014
Otros (ceniza, porcelana)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: ECRSC 2014, MD San Jerónimo – Cusco

Tabla 7
Densidad de los residuos sólidos por el valor comercial

Peso Volumétrico Promedio	Orgánico	Reciclable	Inservible
	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
	255,15	85,32	197,63

Fuente: ECRSD 2014, MD San Jerónimo – Cusco

La Tabla 8 detalla por rubros la generación total de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo.

Tabla 8
Generación total de RR SS del distrito de san Jerónimo

Sub Grupo	GPC	Unidad	Población 2014	Ton/Día	Ton/Mes	Ton/Año
Establecimientos comerciales	0,73	Kg/establecimiento/día	1239	0,90	27,13	325,61
Restaurantes	4,66	Kg/restaurante/día	245	1,14	34,25	411,01
Alojamientos	1,49	Kg/establecimiento/día	58	0,09	2,59	31,11
Mercados	6,19	Kg/puesto de venta/día	907	5,61	168,43	2021,16
Instituciones educativas	0,04	Kg/alumno, personal, docente/día	2704	0,11	3,24	38,94
Barrido	333,30	Kg/día		0,33	10,00	119,99
			Sub total	8,19	245,65	2947,82
Domiciliario	0,397	Kg/hab/día	43732	17,36	520,85	6250,18
			Total	25,55	766,50	9197,99

Fuente: ECRSND 2014, MD San Jerónimo – Cusco

De las tablas anteriores, se verifica que la generación de residuos sólidos total en el rubro de mercados es de 168 toneladas por mes, de manera que el material utilizado en la planta de compostaje solo consta de 94,5 toneladas al mes (Ver Tabla 10). Por otro lado, en el rubro domiciliario, la generación de residuos sólidos total es de 520 toneladas por mes y lo compostable es de 62%, lo cual significa que se puede compostar 322 toneladas por mes, pero solo se utiliza 84 toneladas en la planta de compostaje.

B. Disposición temporal.

El sitio de disposición temporal de los residuos orgánicos es la plataforma N° 1 de la planta de compostaje (Ver Figura 2), es ahí, donde se extiende

el material para favorecer la identificación de los elementos impropios voluminosos y ser retirados manualmente. Esta plataforma al igual que las otras dos está pavimentada y tiene un área de 700 m².

Figura 2
Disposición temporal de residuos orgánicos



Fuente: Propia del investigador, 2015

Tabla 9
Acopio de residuos sólidos orgánicos y producción de compost

	Unidad	Cantidad	Usos
Acopio	Toneladas/mes	210	Producción de compost
Producción	Toneladas/mes	39	Abono orgánico.

Fuente: MD San Jerónimo – Cusco, 2015

C. Criterios técnicos para la distribución de materiales dentro de los compostadores.

Para designar las proporciones de los materiales que se utilizaron para el proceso de compostaje en el presente proyecto y tomando en cuenta el objetivo general de este: “**Determinar el nivel de eficiencia productiva de la planta de compostaje del Distrito de San Jerónimo**”. Se analizó la Tabla 10 y Tabla 11, los cuales mencionan la proporción de entrada de estos productos en la planta de compostaje y la relación de C/N de los materiales utilizados.

Tabla 10
Proporción de entrada de residuos sólidos orgánicos
en la planta de compostaje del distrito

Tipo	(%)
Residuos sólidos orgánicos de las viviendas	40
Residuos sólidos orgánicos del mercado de Vinocanchón	45
Áreas verdes	15

Fuente: MD San Jerónimo – Cusco, 2015

- **Relación de C/N de los materiales utilizados en las composteras.**

Los sustratos que se utilizaron en los compostadores, fueron seleccionados según su relación C/N (ver Tabla 11) y su generación en el distrito de San Jerónimo

Tabla 11
Relación C/N para los compostadores
2 y 4

Componente	C/N
Desechos de frutas	35:1
Restos de verduras	37:1
Desechos de comida	15:1
Césped	19:1

Fuente: FAO, 1991

Se escogieron dos tipos:

- Un compostador compuesto por RSO de viviendas, RSO del mercado Vinocanchón y restos de áreas verdes,
- Un compostador compuesto por residuos de frutas y verduras, desechos de comida y restos de pastos.

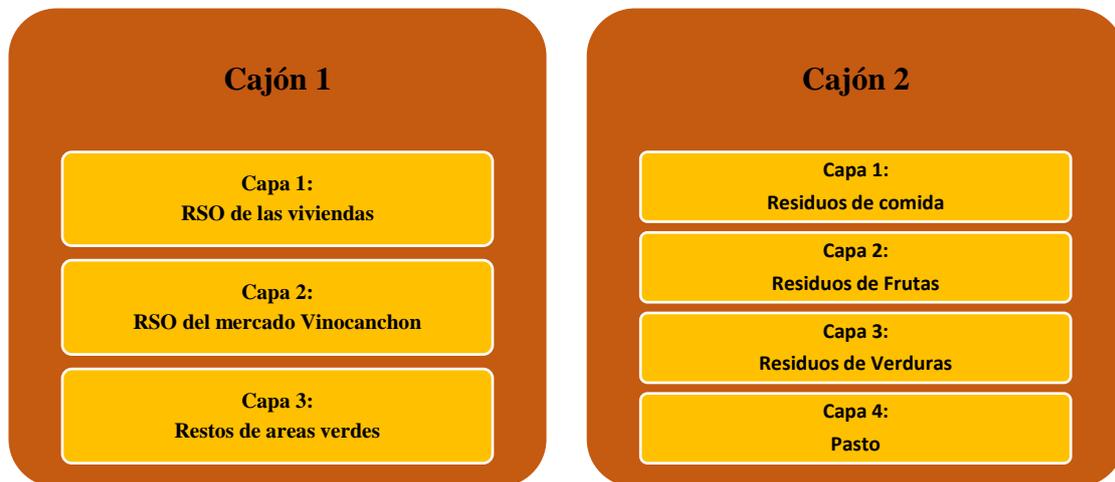
Cada una de cada tipo tiene una copia, esto con la finalidad de comprobar resultados. En la Figura 4 y 5 se muestra una representación

gráfica de la colocación de los compostadores y sus respectivos materiales a compostar.

El compostador 1 y su copia 3 poseerán en común con los compostadores 2 y su copia 4 los mismos componentes, pero en proporciones diferentes. Los dos primeros tendrán la proporción artesanal ejecutada por los obreros de la planta de compostaje, mientras que los dos últimos compostadores poseerán proporciones según la práctica técnica de muchos autores.

Figura 3

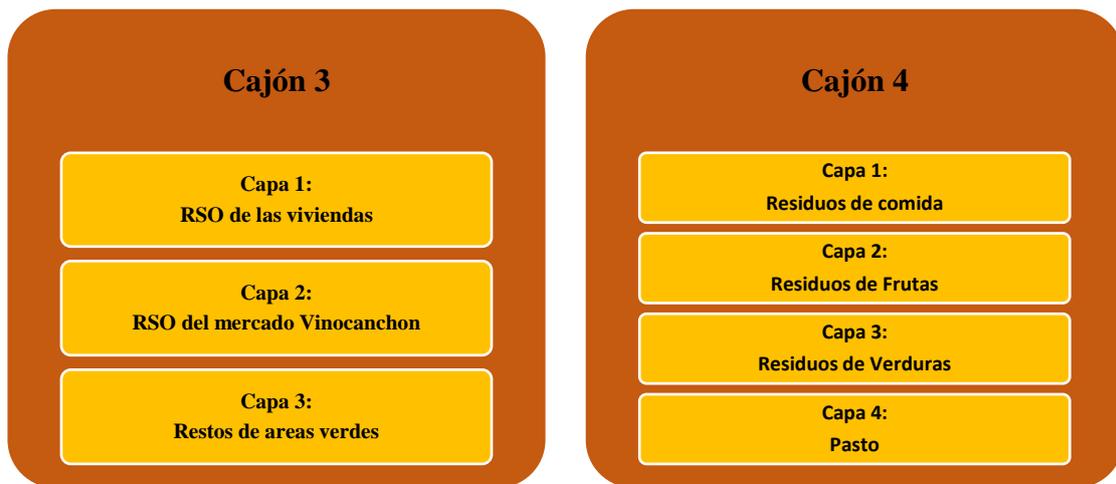
Esquema de colocación de los compostadores 1 y 2 con sus respectivos componentes



Fuente: Propia del investigador, 2016

Figura 4

Esquema de colocación de los compostadores copia 3 y 4 con sus respectivos componentes



Fuente: Propia del investigador, 2016

3. Instalación del sistema de compostaje.

Para la instalación de los compostadores en la planta piloto de compostaje se contó con la mano de obra del investigador y de un ayudante. Los materiales que se utilizaron fueron:

- 4 cajones en madera de 0.35 m x 0.45 m x 0.5 m,
- Plástico negro de 3m x 6 m,
- 2 palas,
- 1 pico,
- 1 báscula,
- 2 tubos de pvc de 1/2"
- Pasto y/o paja,
- Residuos orgánicos.

A. Instalación de los compostadores.

Para cada cajón se preparó una base de plástico de 45 cm x 60 cm. Este material se adecua en la base interior de los compostadores con la finalidad de captar los lixiviados a través de un conducto y destinarlos a la planta artesanal de lixiviados.

Figura 5

Instalación de compostadores



Fuente: Propia del investigador, 2016

B. Preparación de los sustratos.

Disponiendo de los residuos orgánicos en la plataforma N° 1, se preparó los residuos orgánicos según criterios técnicos para conseguir las características necesarias para un buen proceso de compostaje. Los elementos que se trabajaron según las Tablas 2, 12 y 13 son: Tamaño de partículas, altura de capa, peso de capa, volumen de capa, y relación de C/N.

Figura 6
Preparación de residuos orgánicos



Fuente: Propia del investigador, 2016

La distribución de los sustratos en los compostadores para el proceso de compostaje, se indican en las Figuras 3 y 4, y las cantidades de cada uno de los materiales se muestran en las Tablas 12 y 13. Para la ejecución de estas tablas, se inició del análisis de la relación C/N que cada sustrato orgánico le aporta al compost (Ver Anexo A).

En la práctica, la proporción C/N, indica la velocidad de descomposición, por lo tanto, ayuda a determinar el tiempo de compostaje, tomando en cuenta los parámetros óptimos de humedad, oxigenación y temperatura.

Tabla 12
Características de materiales en los compostadores 1 y 3

Sustrato	Altura de capa (cm)	Peso (Kg)	Volumen (m ³)	%
RSO de viviendas	18	8,1	0,0315	40
RSO de del mercado Vinocanchon	20	9,1	0,035	45
Restos de áreas verdes	7	3	0,0125	15
Total	45	20,2	0,079	100

Fuente: Propia del investigador, 2016

Tabla 13
Características de materiales en los compostadores 2 y 4

Sustrato	Altura de capa (cm)	Peso (Kg)	Volumen (m ³)	%
Restos de comida	13,4	7,8	0,0235	29,8
Restos de frutas	11,15	6,5	0,0196	24,8
Restos de verduras	11,15	6,5	0,0196	24,8
Pasto seco	9,3	5,4	0,0163	20,6
Total	45	26,2	0,079	100

Fuente: Propia del investigador, 2016

Tabla 14
Consolidado de características de construcción de compostadores

	Compostador Piloto 1,3	Compostador Piloto 2,4	Pila de compostaje en la Planta del Distrito de San Jerónimo	Bongoam V.E. Experiencias de campo	Guia para compostaje y manejo de suelos; CAB
Ancho	0,35 m	0,35 m	8,6 m	1,5 m	1 m
Alto	0,45 m	0,45 m	2,5 m	1,5 m	1.5 m
Largo	0,50 m	0,50 m	38 m	2 m	10 m
Altura de Capa	RSO de viviendas: 0,18 m RSO del mercado Vinocanchon : 0,20 m Restos de areas verdes: 0,07 m	Restos de comida: 13,4 cm Restos de Frutas: 11,15 cm Restos de Verdura: 11,15 cm Pasto seco: 9,3 cm	RSO de viviendas: RSO del mercado Vinocanchon : Restos de areas verdes:	Residuos de comida: 15 cm Estiercol o tierra: 5 cm Cesped: 15 cm	Estiercol: 45% Forraje o pasto seco al sol: 41% Aserrin: 4%
Peso de la capa	RSO de viviendas: 8,1 Kg RSO del mercado Vinocanchon : 9,1 Kg Restos de areas verdes: 3 Kg	Restos de comida: 7,8 Kg Restos de Frutas: 6,5 Kg Restos de Verdura: 6,5 Kg Pasto seco: 5,4 Kg	RSO de viviendas: 84000 Kg RSO del mercado Vinocanchon : 94500 Kg Restos de areas verdes: 31500 Kg		Estiercol: 1125Kg Forraje o pasto seco al sol: 1025Kg Aserrin: 100Kg

	Compostador Piloto 1,3	Compostador Piloto 2,4	Pila de compostaje en la Planta del Distrito de San Jeronimo	Bongoam V.E. Experiencias de campo	Guia para compostaje y manejo de suelos; CAB
Volumen de la capa	RSO de viviendas: 0,0315 m ³ RSO del mercado Vinocanchon : 0,035m ³ Restos de areas verdes: 0,0125 m ³	Restos de comida: 0,0235 m ³ Restos de Frutas: 0,0196 m ³ Restos de Verdura: 0,0196 m ³ Pasto seco: 0,0163 m ³	RSO de viviendas: RSO del mercado Vinocanchon : Restos de areas verdes:		
C/N	RSO de viviendas: RSO del mercado Vinocanchon : Restos de areas verdes:	Restos de comida: 15:1 Restos de Frutas: 35:1 Restos de Verdura: 37:1 Pasto seco: 19:1	RSO de viviendas: RSO del mercado Vinocanchon : Restos de areas verdes:	Residuos de comida: 15:1 Estiercol: 20:1 Tierra: 17:1 Cesped: 10:1	Estiercol: 20:1 Forraje o pasto seco al sol: 19:1
Densidades	RSO de viviendas: 255,15 Kg/m ³ RSO del mercado Vinocanchon : 255,15 Kg/m ³ Restos de areas verdes: 255,15 Kg/m ³	Restos de comida: 997,71Kg/m ³ Restos de Frutas: Restos de Verdura: Pasto seco:	RSO de viviendas: 257 Kg/m ³ RSO del mercado Vinocanchon : 260 Kg/m ³ Restos de areas verdes: 244 Kg/m ³	Residuos de comida: 997,71Kg/m ³ Estiercol: Tierra: Cesped:	

Fuente: Propia del investigador, 2016

3.1.2 Tipo de investigación.

Este estudio se encuentra dentro de la investigación aplicada ya que resuelve problemas de naturaleza práctica, aplicando resultados obtenidos.

3.1.3 Nivel de la investigación.

Es una investigación de nivel descriptiva –experimental ya que da a conocer cómo se puede aprovechar los residuos sólidos orgánicos en el distrito de San Jerónimo.

3.2 Diseño de la investigación.

La investigación será **descriptiva por series de tiempo** en la PTC, de modo que se realizará un trabajo de campo para la observación y toma de muestras para el análisis en laboratorio. Para ello se solicitará un permiso de acceso a la municipalidad de San Jerónimo.

M: $O_1 - O_2 - O_3 - O_n$

M: Muestra. Material en proceso de compostaje.

O_n : Observación y análisis que se realiza cada cierto tiempo.

Se comparan los valores del sistema seleccionado y se determina la efectividad de los compostadores.

3.3 Hipótesis de la investigación.

3.3.1 Hipótesis general.

La planta piloto de compostaje del Distrito de San Jerónimo tiene un rendimiento efectivo y productivo.

3.3.2 Hipótesis específicas.

- Los residuos sólidos que se generan en el distrito de San Jerónimo son mayormente domésticos y orgánicos.
- Los niveles de producción de compostaje que genera la Planta Piloto de Compostaje del distrito de San Jerónimo son considerables en términos de cantidad y calidad.

3.4 Variables.

3.4.1 Variable independiente.

Inadecuada gestión de residuos orgánicos para la obtención de compostaje

3.4.2 Variable dependiente.

Eficiencia del compostaje en la planta piloto del Distrito de San Jerónimo.

3.5 Cobertura del estudio de investigación.

3.5.1 Población.

520, 85 toneladas de residuos sólidos generados en el distrito de San Jerónimo.

3.5.2 Muestra.

84 toneladas de residuos orgánicos compostados en la Planta Piloto del Distrito de San Jerónimo.

3.5.3 Muestreo.

Muestreo no probabilístico (no aleatorio): En este tipo de muestreo, puede haber clara influencia de la persona o personas que seleccionan la muestra o simplemente se realiza atendiendo a razones de comodidad. Salvo en situaciones muy concretas en la que los errores cometidos no son grandes, debido a la homogeneidad de la población, en general no es un tipo de muestreo riguroso y científico, dado que no todos los elementos de la población pueden formar parte de la muestra, en el caso el total de la muestra se utilizará al contar con la Planta de Tratamiento de Compostaje (PTC).

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.6.1 Técnicas de investigación.

- Observación.
- Encuesta.

3.6.2 Instrumentos de investigación.

- Guías de observación de campo con instrumentos de calibración.
- Entrevista de carácter simultáneo.

3.6.3 Fuente de redacción de datos.

- Recolección de datos mediante bibliografías, revistas, tesis, artículos científicos.

3.7 Procesamiento estadístico de datos.

3.7.1 Medidas.

- Promedio.
- Porcentaje.

3.7.2 Representaciones.

- Histogramas.
- Diagramas de distribución.
- Polígonos de frecuencia.

Capítulo IV

4 Organización, presentación y análisis de resultados

4.1 Resultados

4.1.1 Características de la planta piloto de compostaje.

El distrito recoge diariamente 6 a 7 toneladas de residuos orgánicos entre el mercado Vinocanchon y el centro histórico del Distrito. Se comenta que el porcentaje de conversión es de 18% por tonelada de acopio, el cual significa que la producción de compost es de 35 toneladas al mes en épocas de estiaje y 39 toneladas al mes en épocas de lluvia.

La planta de tratamiento viene funcionando desde el año 2009, gracias a la cooperación internacional mediante el apoyo del hermanamiento EDEGEM BÉLGICA – SAN JERONIMO PERU. En Julio del 2011 se inauguró la tercera plataforma de compostaje en la planta piloto y hasta el momento se continua con la producción del compost, si bien es cierto que se está tratando residuos sólidos, lo cual es una técnica beneficiosa y opción de solución para el problema de la generación de residuos sólidos a nivel internacional, nacional, regional y local, pero se tiene que realizar de manera eficiente y responsable sin causar impactos negativos en la salud pública y el ambiente.

Esta Planta piloto tiene un área de 7000 m² que ha sido entregado en contrato de cesión de uso por la Comunidad Campesina de Picol Orcompujio, por un período de 10 años. Posee a nivel interno una construcción de habitaciones y oficinas, 3 plataformas de compostaje y una planta artesanal con filtros y sedimentadores para la captación y tratamiento de lixiviados. La plataforma de compostaje N° 01 costa de un área con pavimento de 700 m², mientras que la plataforma de compostaje N° 2 y N°3 poseen un área pavimentada de 400 m².

Por otro lado al NO y SE de la planta piloto existen microcuencas que alimentan al rio Huatanay y que de ser manejado inadecuadamente los lixiviados de la planta piloto de compostaje, podría incrementar a la contaminación del rio.

Figura 7
 Área de la planta piloto de compostaje del distrito de San Jerónimo



Fuente: MD San Jerónimo – Cusco

4.1.2 Seguimiento al proceso de compostaje.

Después de instalar los compostadores y la preparación de los materiales a compostar, hubo necesidad de realizar una supervisión al proceso de compostaje en los compostadores, esto, para proporcionar las condiciones necesarias (temperatura, humedad, aireación, etc.) a la descomposición de la materia orgánica.

Los parámetros a los que se hizo seguimiento son: temperatura, pH y humedad. Estos parámetros han de cumplir los rangos determinados en las Tablas 2 y 3, es así que, se realizó pruebas in situ y ex situ de los parámetros mencionados. El análisis de temperatura fue realizado in situ; mientras que los análisis de humedad y pH fueron ex situ, estos dos últimos llevado a cabo en el laboratorio del Ingeniero Mario Cumpa, domiciliado en COVIDUC del distrito de San Sebastián, provincia de Cusco.

4.1.2.1 Pruebas in situ (en campo)

- A. Temperatura:** El registro de temperatura se realizó a través de un termómetro de mercurio con una escala de -10 a 250 °C. El instrumento se ubicó al centro del eje vertical y horizontal del material en descomposición para evitar alteraciones de lectura de la temperatura,

que podría ocasionarse por contacto al material del cajón compostador. El registro de la temperatura se efectuó antes y después del volteo (Ver Anexos D, E).

Figura 8
Medición de temperatura



Fuente: Propia del investigador, 2016

4.1.2.2 Pruebas ex situ (en Laboratorio)

Para estas pruebas fue esencial la extracción de muestras de cada compostador, el cual se perpetuo de la siguiente forma: Se dividió el material en proceso de descomposición en 4 partes dentro del compostador. Del centro del eje vertical y horizontal de cada parte dividida, se tomó una muestra de 6 gramos aproximadamente, formando así una muestra representativa de 24 gramos, luego, es colocado en una bolsa plástico al cual se le rotula un código que señale a que compostador pertenece. Finalmente, la bolsa con la muestra y el rotulo, se deposita en una nevera de icopor, de modo que con esta acción se ayuda a preservar sus características de la muestra representativa, pero es oportuno mencionar que la muestra sufre alteraciones al momento de trasladar del campo (compostador) al laboratorio.

Figura 9
Toma de muestra representativa
para pruebas en laboratorio



Fuente: Propia del investigador, 2016

A continuación se detalla el procedimiento de las tareas realizadas en el laboratorio:

A. Determinación de la humedad (H°)

Actividad:

- Pesar muestra representativa a 4 g (W1)
- Secar la muestra a 100°C en horno.
- Sacar del horno y volver a pesar (W2)
- Determinar la Humedad ($\% H^\circ$)

Figura 10
Determinación de Humedad



Fuente: Propia del investigador, 2016

Después de una hora se sacó la muestra del horno, se volvió a pesar y se determinó la humedad de la muestra representativa. Los resultados se encuentran en el anexo C

B. Determinación de pH

Cuando la muestra posee exceso de sales el pH es alcalino y cuando es viceversa el pH es ácido.

Actividad:

- Pesar 20 g de muestra representativa
- Verter en un vaso con agua destilada de 40 ml
- Agitar la solución
- Medir el pH

Figura 11
Determinación de pH



Fuente: Propia del investigador, 2016

Una vez pasada las 8 horas tomar registro del pH por medio del pH metro. Los resultados se encuentran en la Tabla 18.

4.2 Discusión de resultados

El tiempo establecido para el proceso de compostaje ha sido de 84 días, el cual es un promedio de tiempo sugerido (P. Román - FAO). Fue indispensable monitorear algunos parámetros del proceso de compostaje para realizar un control en la producción del mismo.

Tabla 15
Parámetros monitoreados durante el proceso de compostaje

	Diaria	Semanal (7 días)
Campo	Temperatura	Temperatura
	Aspecto	Volteo
		Aspecto
Laboratorio		pH
		Humedad

Fuente: Propia del investigador, 2016

La acción de monitoreo y control se efectuó durante 12 semanas, dentro de las cuales se realizaron 6 pruebas a lo largo del proceso de compostaje. En las primeras 3 semanas no se hizo pruebas de interés de monitoreo y control, esto a consecuencia de que en esos días las variables en la composta se acondicionan, por otro lado, las 3 últimas semanas tampoco se efectúa las pruebas respectivas por ser semana de maduración (etapa de culminación de la composta). Todo ello se indica en la siguiente tabla.

Tabla 16
Tiempo de monitoreo y control

Semana	Prueba	Fecha
1		01/03/2016 - 06/03/2016
2		07/03/2016 - 13/03/2016
3		14/03/2016 - 20/03/2016
4	1	21/03/2016 - 27/03/2016
5	2	28/03/2016 - 03/04/2016
6	3	05/04/2016 - 10/04/2016
7	4	11/04/2016 - 17/04/2016
8	5	18/04/2016 - 24/04/2016
9	6	25/04/2016 - 01/05/2016
10		02/05/2016 - 08/05/2016
11		09/05/2016 - 15/05/2016
12		16/05/2016 - 22/05/2016

Fuente: Propia del investigador, 2016

4.2.1 Análisis y resultados de humedad en laboratorio.

- En las Pruebas N° 1, 2, 5, y 6, todos los compostadores (1,2,3 y 4) muestran que el proceso de degradación estuvo dentro del rango de humedad establecido (30% -60%) según la Tabla 2. Mientras que en las pruebas N° 3 y 4, a excepción del resto de los compostadores, el compostador 3, indica que dentro del proceso hubo exceso y falta de humedad.
- En cuanto a la prueba N° 3 en el compostador 3, se observó que no existía putrefacción, sin embargo, según la Figura 12 se puede apreciar que el compostador supera en un 5,25 % de humedad respecto al rango establecido, el cual indicaría que pudo haber iniciado la putrefacción, aunque para diferentes autores la humedad puede alcanzar hasta un 70 % sin alterar la actividad de los microorganismos durante la degradación de materia orgánica y es probable que por esta situación no se observó ninguna actividad relacionada a la putrefacción dentro del compostador 3.
- De otro lado, en la prueba N° 4 en el compostador 3, se puede apreciar que la caída del % humedad es de 40,25 % respecto a la prueba N° 3, situándose en un 5 % por debajo del rango mínimo establecido (30% - 60%). La ocurrencia de este fenómeno deduce a la falta de volteo oportuno, dado que la masa en proceso de compostaje estaría pasando por la fase termófila (40 °C – 65 °C). Este efecto sería un indicador de baja productividad, porque la oxidación del material a compostar estaría pasando por un proceso lento.

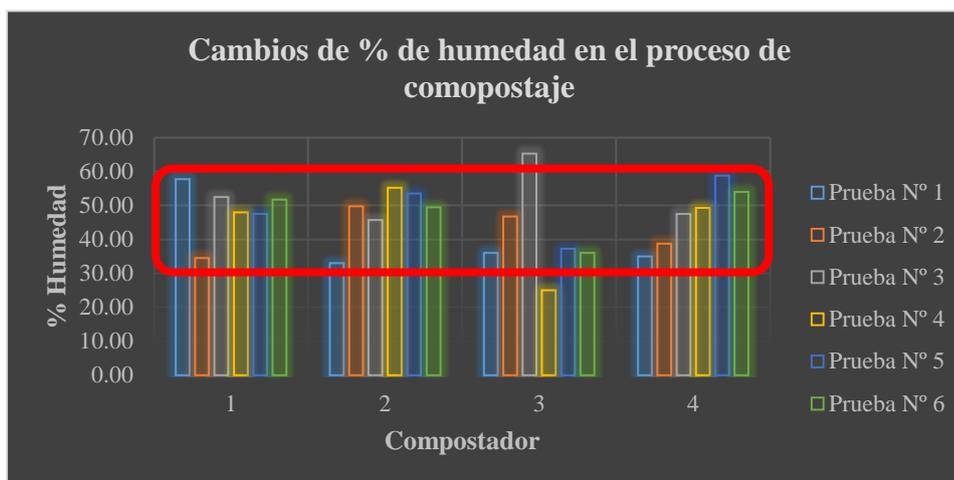
Tabla 17
Resultados de % de humedad

Compostador	Pruebas H° (%)					
	1	2	3	4	5	6
1	57,75	34,50	52,50	48,00	47,50	51,75

2	33,00	49,75	45,75	55,25	53,50	49,50
3	36,00	46,75	65,25	25,00	37,25	36,00
4	35,00	38,75	47,50	49,25	58,75	54,00

Fuente: Propia del investigador, 2016

Figura 12
Cambios de % de humedad en el proceso de compostaje



Fuente: Propia del investigador, 2016

4.2.2 Análisis y resultados de pH en laboratorio.

- No se aprecia resultados de pH ácidos que puedan significar interrupción de la actividad microbiana aerobia para pasar a actividades anaerobias.
- Según la Figura 13, se puede apreciar un análisis de comparación entre los compostadores 1,3 y 2,4. En las pruebas N° 2, 3, 4, 5 al realizar los volteos correspondientes a los compostadores 2, 4 se observa que el valor de la escala de pH disminuye para la subsiguiente prueba mientras que en los compostadores 1,3 el valor de la escala de pH se incrementa hasta el momento de realizar la prueba N° 4 que es el tiempo (15 días) que los obreros de la planta con el conocimiento artesanal que tienen, realizan el volteo, luego de esto el pH disminuye para la subsiguiente prueba.
- Se observa que la dinámica del pH es directamente proporcional a la temperatura, dado que al realizar el volteo en los compostadores se aprecia que el pH disminuye y que por deducción a la teoría, también la

temperatura desciende al aplicar aireación sobre la masa en proceso de compostaje.

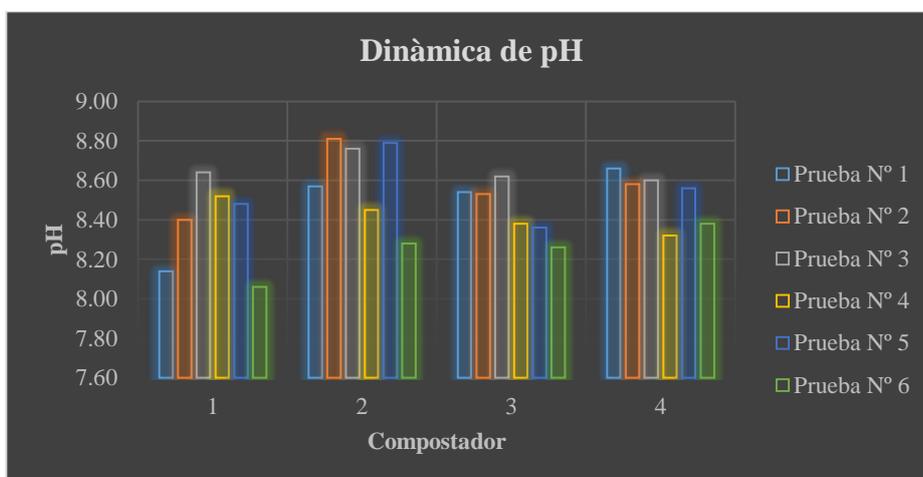
- Los resultados de pH en la prueba N° 2, pese a los volteos en 2 de 4 compostadores, se observa que se incrementan o se mantienen con una diferencia mínima comparado a los valores de pH en la prueba N° 1. Este efecto pudo ocasionarse debido a la proliferación acelerada de microorganismos termófilas en el inicio de esta fase. Es así que, también se puede apreciar la parte final de la fase termófila al obtener un máximo creciente del valor de la escala de pH en la prueba N° 5 para luego pasar a la fase de maduración.

Tabla 18
Resultados de pH en el proceso de compostaje

Compostador	Pruebas de pH					
	1	2	3	4	5	6
1	8,14	8,40	8,64	8,52	8,48	8,06
2	8,57	8,81	8,76	8,45	8,79	8,28
3	8,54	8,53	8,62	8,38	8,36	8,26
4	8,66	8,58	8,60	8,32	8,56	8,38

Fuente: Propia del investigador, 2016

Figura 13
Cambios de pH en el proceso de compostaje



Fuente: Propia del investigador, 2016

4.2.3 Análisis y resultados de temperatura. (Prueba en campo)

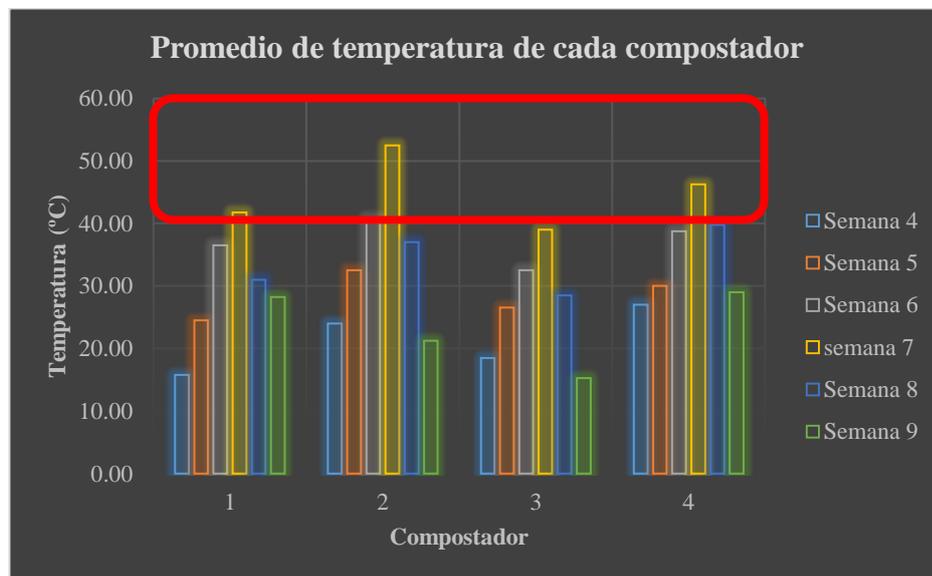
- Los compostadores 2 y 4 alcanzaron las temperaturas máximas del rango de temperatura de la fase termófila (Ver Figura 14), pero los otros dos restantes compostadores 1 y 3, apenas tocan el rango mínimo.
- Las altas temperaturas se registraron para la semana 7, lo que indica que es la última semana de actividad biológica intensa en la fase termófila, ya que estos al realizar la transformación de la materia orgánica, liberan energía en forma de calor. A partir de esta semana, la tendencia a disminuir la temperatura es evidente, de manera que pasara a la fase de enfriamiento y luego a la de maduración.
- Para la semana 5, los compostadores 2 y 4, muestran que hay inicio de la fase termófila por la proximidad al rango de temperatura mínima (40 °C – 65 °C), mientras que en los compostadores 1 y 3, la actividad de los mesófilos se prolonga, y ya para semana 6 todos los compostadores evidencian la actividad de los microorganismos de la fase termófila. Este fenómeno es probable su ocurrencia en la diferencia de proporción de materia prima en los compostadores y la recurrencia de volteo controlado.
- No se monitoreo las semanas 1, 2 y 3 por ser semanas de adecuación de variables en el proceso, y por esta razón es que se recomienda que el primer volteo debe realizarse a los 22 días (P. Román – FAO, 1991). Por otro lado, las semanas 10, 11 y 12 también no fueron monitoreadas dado que la mayor actividad biológica se presenta en la fase termófila y es ahí donde se tomó el criterio de evaluar la eficiencia del proceso.
- A partir de la semana 8 y 9 empieza la fase de enfriamiento (15 °C – 40 °C) y según la Figura 15 la tendencia señala que el proceso ha pasado a la fase de maduración (Temperatura de ambiente) durante las semanas siguientes 11 y 12 y de esta forma finalizo el proceso para este proyecto. La semana 10 estará entre ambas fases.

Tabla 19
Promedio de temperatura semanal en cada compostador

Compostador	Semanas					
	Temperaturas (°C)					
	4	5	6	7	8	9
1	15,75	24,50	36,50	41,75	31,00	28,25
2	24,00	32,50	40,75	52,50	37,00	21,25
3	18,50	26,57	32,50	39,00	28,50	15,25
4	27,00	30,00	38,75	46,25	39,75	29,00

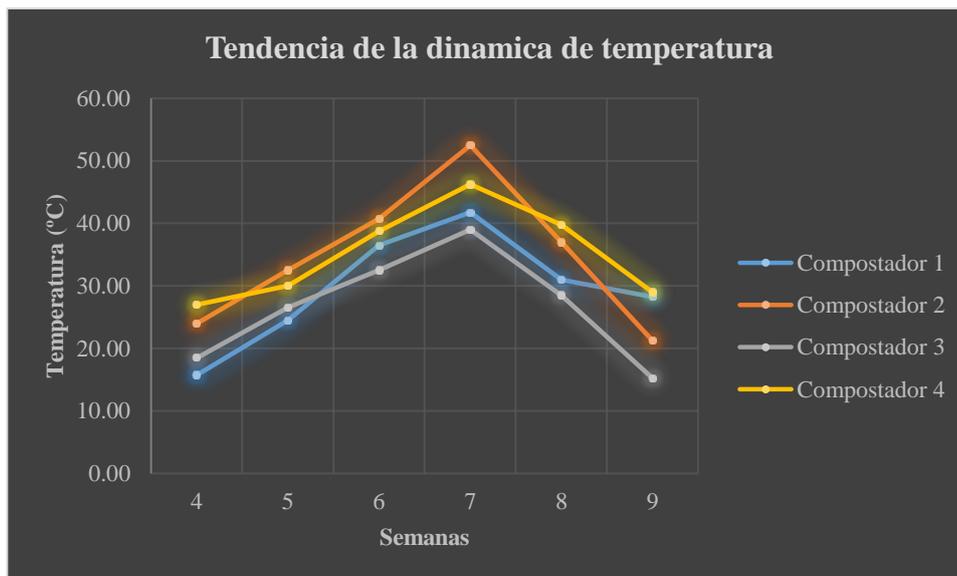
Fuente: Propia del investigador, 2016

Figura 14
Promedio de temperatura semanal en cada compostador



Fuente: Propia del investigador, 2016

Figura 15
Tendencia de la dinámica de temperatura en todo el proceso de Compostaje



Fuente: Propia del investigador, 2016

4.2.4 Análisis y resultados de la producción de compost.

- Efectuando un pesaje final del material compostado en cada compostador, se determinó la producción del mismo.
- Los compostadores 2 y 4 presentaron mayor producción de compost, comparado a los compostadores 1 y 3 (Ver tabla 20). En el compostador N° 2 se ha evidenciado la mayor cantidad de producción de compost en comparación al resto, mientras que en el compostador N° 3 se aprecia la menor cantidad. Cabe señalar que a todo los compostadores se colocó los mismo materiales, pero en proporciones diferenciadas.
- De manera explícita, los compostadores 2 y 4 a los cuales se les introdujo materiales controladas de C/N, fueron más eficientes que los compostadores 1 y 3 que tuvieron materiales sin ningún control de C/N igual a las pilas de la planta de compostaje. Por otro lado, los resultados

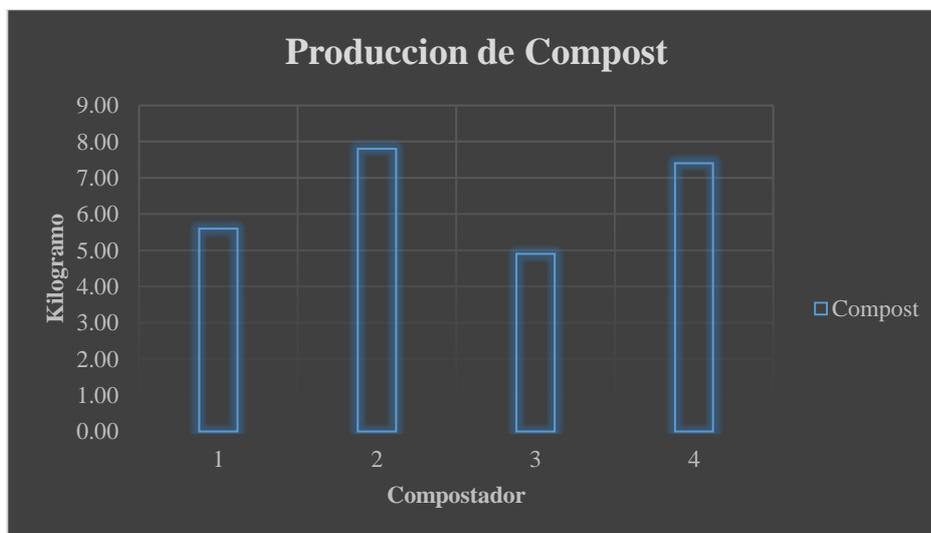
conseguidos también tuvieron efecto por el volteo oportuno realizados en cada compostador, es así que los compostadores 2 y 4 se perpetro el volteo cada 7 días, mientras que los compostadores 1 y 3 cada 15 días.

Tabla 20
Producción de Compost

Compostador	Peso de compost producido (Kg)
1	5,60
2	7,80
3	4,90
4	7,40
Total	25,70

Fuente: Propia del investigador, 2016

Figura 16
Producción de Compost



Fuente: Propia del investigador, 2016

4.3 Comprobación de la hipótesis.

Las hipótesis específicas, señalan:

- *Los residuos sólidos que se generan en el distrito de San Jerónimo son mayormente domésticos y orgánicos.*

La Tabla 4 evidencia que el 58,88 % de residuos son orgánicos propiamente dicho, además está determinado que el 62,10 % es compostificable (Ver Tabla 5) considerando a los residuos sólidos de materia orgánica y follajes, y que son los más compostables.

- *Los niveles de producción de compostaje que genera la Planta Piloto de Compostaje del distrito de San Jerónimo son considerables en términos de cantidad y calidad.*

La Tabla 9 señala que la producción de compost es de 39 toneladas por mes, y que el nivel de compostaje esta alrededor de 0,18 kg de compost por kg de residuo orgánico. Esto es corroborado con la producción de compost de los compostadores 1 y 3 (Ver Tabla 20), los cuales muestran un nivel de compostaje alrededor de 0,24 kg de compost por kg de residuo orgánico.

La hipótesis general señala:

La planta piloto de compostaje del Distrito de San Jerónimo tiene un rendimiento efectivo y productivo.

De hecho es efectivo y productivo, puesto que se produce más de 1 tonelada diaria y que podría aumentar esta producción si se inicia una labor de producción programada y regulada. La tabla 20 con los compostadores 2 y 4 indica que si se controla las variables y parámetros de manera técnica, la producción de compost sería no solo eficaz, sino, eficiente.

Conclusiones

- Los residuos sólidos diarios en el distrito de San Jerónimo son en su mayoría orgánicos: 58,88 % en promedio. Follaje, papel y cartón constituyen del 8,23%, el resto de residuos constan el 32,89 %, es decir lo compostable es el mayor porcentaje. Por otro lado, analizando las Tablas 5, 8 y 9, la cantidad de residuos sólidos domiciliarios generados en el distrito son de 520, 85 toneladas por mes, de los cuales, el 62, 10 % es compostificable viniendo a ser 323,45 toneladas por mes. De esa cantidad, la planta piloto de compostaje del distrito, utiliza 84 toneladas por mes, el cual es el 25,9 % de aquello que se considera compostificable, esto significa que el 74,1 % se dispone en el botadero controlado de Haquira (Lugar de disposición final de RR SS de la provincia de Cusco).
- Los niveles de compostaje que genera la Planta Piloto de Compostaje del distrito de San Jerónimo de acuerdo a la cantidad de residuos orgánicos que utiliza es de 0,186 kg por kg de residuo orgánico, es decir, de 210000 kg de residuos orgánicos que ingresa a la planta de compostaje, se consigue producir 39000 kg de compost, bastante auspicioso para la producción en condiciones artesanales. Ahora, realizando un trabajo más técnico, los niveles de compostaje sería de 0,29 kg por kg de residuo orgánico, dado que de 26, 2 kg de residuo orgánico utilizado en el proceso de compostaje, se obtuvo en promedio 7,6 kg de compost. De manera que transmitiendo este nivel de producción de compost a las 210 toneladas que la planta de compostaje utiliza, la producción de compost promediaría alrededor de 60,9 toneladas por mes, superando así a la producción artesanal en un 36%.

Finalmente, la producción de compost del Distrito de San Jerónimo es ineficiente porque no se aprovecha al máximo el material orgánico, y de otro lado, el tiempo del proceso de descomposición de la materia orgánica es prolongado debido al empleo de criterios artesanales. Los valores de la muestra piloto explicados en la tabla N° 13 son favorables para este proceso, de manera que esa información determinará un aporte

significativo para la agricultura orgánica y una práctica ambiental saludable.

Recomendaciones

- La municipalidad distrital de San Jerónimo, debe fomentar la conciencia ambiental en charlas, talleres, etc. A través de programas de educación ambiental, a la ciudadanía del distrito de San Jerónimo. De manera que esto permita desarrollar prácticas de segregación desde la fuente de generación como parte fundamental en la gestión de residuos sólidos para considerar la posibilidad de aprovechar todos los residuos orgánicos generados, y de esta forma se ayudaría en gran manera a reducir la cantidad de generación de residuos sólidos del distrito, es decir que de los 520,85 toneladas, considerando el 62,1 % de material compostable , solo 197,4 toneladas terminarían depositados en el botadero controlado de Haquira. Esto, tendría un impacto positivo sobre los pasivos ambientales en el botadero.
- La planta piloto de compostaje del distrito de San Jerónimo, debe diseñar e implementar un sistema técnico de compostaje ya sea de menor o mayor escala, realizando un estudio de viabilidad, y siguiendo los criterios técnicos establecidos para tal proyecto. También debe contar con los elementos básicos para realizar las pruebas necesarias, tanto in situ como en laboratorio, así como también capacitar periódicamente al personal que labora en la planta de compostaje sobre las técnicas de manejo operacional. Con todo esto se tendrá las posibilidades de presentar mejores niveles de producción de compost. Finalmente se debe difundir la práctica del empleo del abono orgánico recuperable y saludable para la producción agraria, en favor del comercio y el prestigio agropecuario del distrito y esto pueda ser replicable en todo el país.

Referencias

- Sáez O. (2000). Optimización de los métodos para mejorar la calidad del compost de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de Caminos, canales y puertos. Escuela técnica superior de Ingenieros.
- Fernández, M. (2012). Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos. Universidad Tecnológica Nacional de Córdoba, España.
- Pilar, E. y Delgadillo, M. (2007). Evaluación de un tratamiento para la producción de compost de Residuos Sólidos Orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de La Modelo, por medio de la utilización de microorganismos eficientes. Universidad La Salle, Bogotá.
- Municipalidad Distrital de San Jerónimo. (2015). Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios.
- Municipalidad Distrital de San Jerónimo. (2015). Estudio de caracterización de residuos sólidos no domiciliarios.
- Municipalidad Distrital de San Jerónimo. (2015). Proyecto de implementación y ampliación de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos-compostaje.
- Municipalidad Distrital de San Jerónimo. (2015). Plan de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.
- Instituto nacional de Ecología. Información sobre biofiltración, características del Contaminante y aspectos microbiológicos de la biofiltración. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/396/biofiltra.html>
- FAO. Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>
- AGROCABILDO. Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones. Recuperado de http://www.agrocabildo.org/publica/publicaciones/sost_257_1_sost_ela_compost.pdf

Revista y Suplementos. Guía nacional de manejo de residuos 2014. Recuperado de <http://www.visitcostarica.com/ict/pdf/guianacionaldemanejoderesiduos2014.pdf>

FUNDASES. Boletín técnico de compostaje con la tecnología EM. Recuperado de <http://www.fundases.org>

SAGARPA. Elaboración de composta. Recuperado de <http://www.fundases.org>

Anexos

Anexo A

Cálculos para determinar las características cuantitativas de los sustratos en los compostadores

Compostadores 1 y 3

Determinación del volumen total de la pila de la planta de Compostaje:

Para el siguiente calculo, se utilizó la información de la Tabla N° 7 y Tabla N° 9

$$x = \frac{(210000 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^3)}{255,15 \text{ kg}} = 823 \text{ m}^3$$

Determinación del peso total de los sustratos en los compostadores:

Ya determinado las dimensiones de los compostadores en función a la propuesta de muchos autores, y de acuerdo al volumen de los compostadores piloto, se presenta la siguiente ecuación:

$$x = \frac{(0,079 \text{ m}^3 \times 210000 \text{ kg})}{823 \text{ m}^3} = 20,16 \text{ kg}$$

Determinación de pesos de los sustratos a utilizar:

Después de analizar las ecuaciones anteriores, se procede a fijar los pesos de cada sustrato, pero con las mismas condiciones de la planta de compostaje. Para ello se utiliza la información de la tabla N° 10.

- **Residuos sólidos orgánicos de viviendas:**

$$x = \frac{(40 \% \times 20,16 \text{ kg})}{100 \%} = 8,1 \text{ kg}$$

- **Residuos sólidos orgánicos del mercado Vinocanchon :**

$$x = \frac{(45 \% \times 20,16 \text{ kg})}{100 \%} = 9,1 \text{ kg}$$

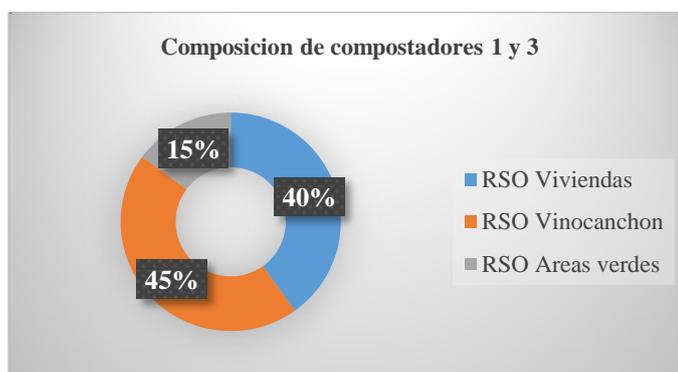
- **Residuos sólidos orgánicos de mantenimiento de áreas verdes :**

$$x = \frac{(15 \% \times 20,16 \text{ kg})}{100 \%} = 3 \text{ kg}$$

Composición de sustratos en compostadores 1 y 3

Sustrato	Peso (kg)	%
RSO Viviendas	8,1	40
RSO mercado Vinocanchon	9,1	45
RSO áreas verdes	3	15
Total	20,2	100

Fuente: Propia del investigador, 2016



Fuente: Propia del investigador, 2016

Determinación de volumen de los sustratos a utilizar:

Luego de establecer los pesos de cada sustrato, a continuación con los datos anteriores se procede a formular las siguientes ecuaciones:

- **Residuos sólidos orgánicos de viviendas:**

$$x = \frac{(8,1 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{20,2 \text{ kg}} = 0,0315 \text{ m}^3$$

- **Residuos sólidos orgánicos del mercado Vinocanchon :**

$$x = \frac{(9,1 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{20,2 \text{ kg}} = 0,035 \text{ m}^3$$

- **Residuos sólidos orgánicos de mantenimiento de áreas verdes :**

$$x = \frac{(3 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{20,2 \text{ kg}} = 0,0125 \text{ m}^3$$

Volumen de sustratos en compostadores 1 y 3

Sustrato	Volumen (m3)
RSO Viviendas	0,0315
RSO mercado Vinocanchon	0,035
RSO áreas verdes	0,0125
Total	0,079

Fuente: Propia del investigador, 2016

Determinación de altura de los sustratos a utilizar:

Para formular las siguientes ecuaciones, también se utilizó los cálculos de pesos de cada sustrato y las dimensiones de los compostadores piloto.

- **Residuos sólidos orgánicos de viviendas:**

$$x = \frac{(8,1 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{20,2 \text{ kg}} = 0,18 \text{ m}$$

- **Residuos sólidos orgánicos del mercado Vinocanchon :**

$$x = \frac{(9,1 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{20,2 \text{ kg}} = 0,20 \text{ m}$$

- **Residuos sólidos orgánicos de mantenimiento de áreas verdes :**

$$x = \frac{(3 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{20,2 \text{ kg}} = 0,07 \text{ m}$$

Altura de sustratos en compostadores 1 y 3

Sustrato	Altura (m)
RSO Viviendas	0,18
RSO mercado Vinocanchon	0,20
RSO areas verdes	0,07
Total	0,45

Fuente: Propia del investigador, 2016

Compostadores 2 y 4

Determinación de pesos de los sustratos a utilizar:

- **Residuos de comida:**

Extrayendo datos de la Tabla N° 14 se formula las ecuaciones para determinar el peso de residuos de comida.

Datos del Autor Bongoan V.E:

- ✓ *Volumen total* = $4,5 \text{ m}^3$
- ✓ *Volumen de residuos de frutas* = $0,45 \text{ m}^3$
- ✓ *Densidad de residuos de comida* = $997,71 \text{ kg/ m}^3$

$$\rho = m/V$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 997,71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,45 \text{ m}^3$$

$$m = 448,9 \text{ kg}$$

$$x = \frac{(0,079 \text{ m}^3 \times 448,9 \text{ kg})}{4,5 \text{ m}^3} = 7,8 \text{ kg}$$

- **Residuos de Áreas verdes (pasto):**

Datos del Autor CAB (Guía de compostaje):

- ✓ *Volumen total* = 15 m^3
- ✓ *Peso de pasto seco al sol* = 1025 kg

$$x = \frac{(0,079 \text{ m}^3 \times 1025 \text{ kg})}{15 \text{ m}^3} = 5,4 \text{ kg}$$

- **Residuos de frutas y verduras:**

Hallando la cantidad de carbono de los pesos de restos de comida y pasto, considerando la relación de C/N: 15/1 y 19/1 respectivamente.

$$C \text{ de restos de comida} = \frac{(7,8 \text{ kg de C y N} \times 15 \text{ C})}{16 \text{ Kg de C y N}} = 7,3 \text{ C}$$

$$C \text{ de restos de pasto} = \frac{(5,4 \text{ kg de C y N} \times 19 \text{ C})}{20 \text{ Kg de C y N}} = 5,13 \text{ C}$$

Hallando peso sub total de restos de comida y pasto.

$$W_t = 7,8 \text{ kg} + 5,4 \text{ kg} = 13,2 \text{ kg}$$

Hallando el sub total de C de restos de comida y pasto.

$$C_t = 7,3 \text{ C} + 5,13 \text{ C} = 12,43 \text{ C}$$

Hallando el peso total de materia orgánica en el compostador.

$$W_T = \frac{(25 \text{ C} \times 13,2 \text{ kg})}{12,43 \text{ C m}^3} = 26 \text{ kg}$$

Hallando el peso de restos de frutas y verduras.

$$W_{FyV} = 26,5 \text{ kg} - 13,2 \text{ kg} = 13,3 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

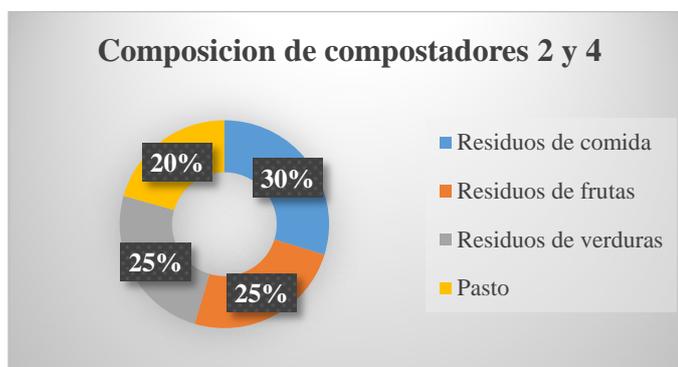
$$\text{Residuos de frutas} = 6,5 \text{ kg}$$

$$\text{Residuos de Verduras} = 6,5 \text{ kg}$$

Composición de sustratos en compostadores 1 y 3

Sustrato	Peso (kg)	%
Residuos de comida	7,8	29,8
Residuos de frutas	6,5	24,8
Residuos de verduras	6,5	24,8
Pasto	5,4	20,6
Total	26,2	100

Fuente: Propia del investigador, 2016



Fuente: Propia del investigador, 2016

Determinación del aporte C/N de los sustratos a utilizar

Utilizando los resultados obtenidos de los pesos de cada componente y tomando en cuenta la relación de C/N de cada uno de ellos, a continuación se explica los cálculos del aporte de carbono y nitrógeno en el proceso de compostaje.

- **Residuos de comida:**

$$C = \frac{(7,8 \text{ kg de C y N} \times 15 \text{ C})}{16 \text{ Kg de C y N}} = 7,31 \text{ C}$$

$$N = \frac{(7,8 \text{ kg de C y N} \times 1 \text{ N})}{16 \text{ Kg de C y N}} = 0,48 \text{ N}$$

- **Residuos de Frutas:**

$$C = \frac{(6,5 \text{ kg de C y N} \times 35 \text{ C})}{36 \text{ Kg de C y N}} = 6,32 \text{ C}$$

$$N = \frac{(6,5 \text{ kg de C y N} \times 1 \text{ N})}{36 \text{ Kg de C y N}} = 0,18 \text{ N}$$

- **Residuos de Verduras:**

$$C = \frac{(6,5 \text{ kg de C y N} \times 37 \text{ C})}{38 \text{ Kg de C y N}} = 6,33 \text{ C}$$

$$N = \frac{(6,5 \text{ kg de C y N} \times 1 \text{ N})}{38 \text{ Kg de C y N}} = 0,17 \text{ N}$$

- **Pasto:**

$$C = \frac{(5,4 \text{ kg de C y N} \times 19 \text{ C})}{20 \text{ Kg de C y N}} = 5,13 \text{ C}$$

$$N = \frac{(5,4 \text{ kg de C y N} \times 1 \text{ N})}{20 \text{ Kg de C y N}} = 0,27 \text{ N}$$

Aporte de carbono y nitrógeno en los compostadores 2 y 4

Sustrato	Kg	C/N	C	N
Residuos de comida	7,8	15/1	7,31	0,48
Residuos de frutas	6,5	35/1	6,32	0,18
Residuos de verduras	6,5	37/1	6,33	0,17
Pasto	5,4	19/1	5,13	0,27
Total	26,2		25,09	1,1

Fuente: Propia del investigador, 2016

Determinación de volumen de los sustratos a utilizar:

- **Residuos de comida:**

$$x = \frac{(7,8 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{26,2 \text{ kg}} = 0,0235 \text{ m}^3$$

- **Residuos de Frutas:**

$$x = \frac{(6,5 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{26,2 \text{ kg}} = 0,0196 \text{ m}^3$$

- **Residuos de Verduras:**

$$x = \frac{(6,5 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{26,2 \text{ kg}} = 0,0196 \text{ m}^3$$

- **Pasto:**

$$x = \frac{(5,4 \text{ kg} \times 0,079 \text{ m}^3)}{26,2 \text{ kg}} = 0,0163 \text{ m}^3$$

Volumen de sustratos en compostadores 2 y 4

Sustrato	Volumen (m ³)
Residuos de comida	0,0235
Residuos de frutas	0,0196
Residuos de verduras	0,0196
Pasto	0,0163
Total	0,0790

Fuente: Propia del investigador, 2016

Determinación de altura de los sustratos a utilizar:

- **Residuos de comida:**

$$x = \frac{(7,8 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{26,2 \text{ kg}} = 0,134 \text{ m}$$

- **Residuos de Frutas:**

$$x = \frac{(6,5 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{26,2 \text{ kg}} = 0,111 \text{ m}$$

- **Residuos de Verduras:**

$$x = \frac{(6,5 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{26,2 \text{ kg}} = 0,111 \text{ m}$$

- **Pasto:**

$$x = \frac{(5,4 \text{ kg} \times 0,45 \text{ m})}{26,2 \text{ kg}} = 0,093 \text{ m}$$

Altura de sustratos en compostadores 2 y 4

Sustrato	Altura (m)
Residuos de comida	0,134
Residuos de frutas	0,111
Residuos de verduras	0,111
Pasto	0,093
Total	0,45

Fuente: Propia del investigador, 2016

 UAP <small>UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS</small>		Universidad Alas Peruanas - Filial Cusco Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental					
Planilla de control del proceso de compostaje en los compostadores - Evaluación semanal en							
Fecha	N° Compostador	Hora		Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Humedad	pH
		Inicio	Final				
Ref. pH	Semana		Ref. Humedad	Semana			
4 - 6	1 - 2		40 % - 60 %	1 - 2			
8 - 9	3 - 5		40 % - 60 %	3 - 5			
7 - 8	6 - 10		40 % - 60 %	6 - 10			
6 - 8	11 - 12		40 % - 60 %	11 - 12			

Anexo C

Calculo de humedad

$$\% H^{\circ} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

$$\% H^{\circ} = \frac{4 - 1,69}{4} \times 100$$

$$\% H^{\circ} = 57,75$$

Para todo el sistema en la prueba N° 1

Compostador	Wi (g)	Wf (g)	% H°
1	4	1,69	57,75
2	4	2,68	33,00
3	4	2,56	36,00
4	4	2,60	35,00

Para todo el sistema en la prueba N° 2

Compostador	Wi (g)	Wf (g)	% H°
1	4	2,62	34,50
2	4	2,01	49,75
3	4	2,13	46,75
4	4	2,45	38,75

Para todo el sistema en la prueba N° 3

Compostador	Wi (g)	Wf (g)	% H°
1	4	1,90	52,50
2	4	2,17	45,75
3	4	1,39	65,25
4	4	2,10	47,50

Para todo el sistema en la prueba N° 4

Compostador	Wi (g)	Wf (g)	% H°
1	4	2,08	48,00
2	4	1,79	55,25
3	4	3,00	25,00
4	4	2,03	49,25

Para todo el sistema en la prueba N° 5

Compostador	Wi (g)	Wf (g)	% H°
1	4	2,10	47,50
2	4	1,86	53,50
3	4	2,51	37,25
4	4	1,65	58,75

Para todo el sistema en la prueba N° 6

Compostador	Wi (g)	Wf (g)	% H°
1	4	1,93	51,75
2	4	2,02	49,50
3	4	2,56	36,00
4	4	1,84	54,00

Anexo D

Registro de temperatura diaria

Semana 4

Compostador 1			Compostador 2			Compostador 3			Compostador 4		
Semana 4											
Dia	° C	Promedio °C									
Lunes	16	15,75	Lunes	25	24	Lunes	17	18,5	Lunes	25	27
Miercoles	18		Miercoles	22		Miercoles	18		Miercoles	29	
Viernes	13		Viernes	24		Viernes	20		Viernes	26	
Domingo	16		Domingo	25		Domingo	19		Domingo	28	

Semana 5

Compostador 1			Compostador 2			Compostador 3			Compostador 4		
Semana 5											
Dia	° C	Promedio °C									
Lunes	24	24,5	Lunes	28	32,5	Lunes	23	26,75	Lunes	29	30
Miercoles	25		Miercoles	30		Miercoles	26		Miercoles	30	
Viernes	23		Viernes	35		Viernes	28		Viernes	30	
Domingo	26		Domingo	37		Domingo	30		Domingo	31	

Semana 6

Compostador 1			Compostador 2			Compostador 3			Compostador 4		
Semana 6											
Dia	° C	Promedio °C									
Lunes	35	36,5	Lunes	38	40,75	Lunes	31	32,5	Lunes	32	38,75
Miercoles	36		Miercoles	40		Miercoles	31		Miercoles	38	
Viernes	38		Viernes	43		Viernes	33		Viernes	40	
Domingo	37		Domingo	42		Domingo	35		Domingo	45	

Semana 7

Compostador 1			Compostador 2			Compostador 3			Compostador 4		
Semana 7											
Dia	° C	Promedio °C									
Lunes	39	41,75	Lunes	45	52,5	Lunes	38	39	Lunes	44	46,25
Miercoles	43		Miercoles	49		Miercoles	39		Miercoles	46	
Viernes	42		Viernes	60		Viernes	40		Viernes	50	
Domingo	43		Domingo	56		Domingo	39		Domingo	45	

Semana 8

Compostador 1			Compostador 2			Compostador 3			Compostador 4		
Semana 8											
Dia	° C	Promedio °C									
Lunes	37	31	Lunes	45	37	Lunes	37	28,5	Lunes	42	39,75
Miercoles	32		Miercoles	41		Miercoles	30		Miercoles	39	
Viernes	28		Viernes	36		Viernes	25		Viernes	40	
Domingo	27		Domingo	26		Domingo	22		Domingo	38	

Semana 9

Compostador 1			Compostador 2			Compostador 3			Compostador 4		
Semana 9											
Dia	° C	Promedio °C									
Lunes	29	28,25	Lunes	24	21,25	Lunes	19	15,25	Lunes	36	29
Miercoles	28		Miercoles	22		Miercoles	15		Miercoles	30	
Viernes	29		Viernes	19		Viernes	14		Viernes	28	
Domingo	27		Domingo	20		Domingo	13		Domingo	22	

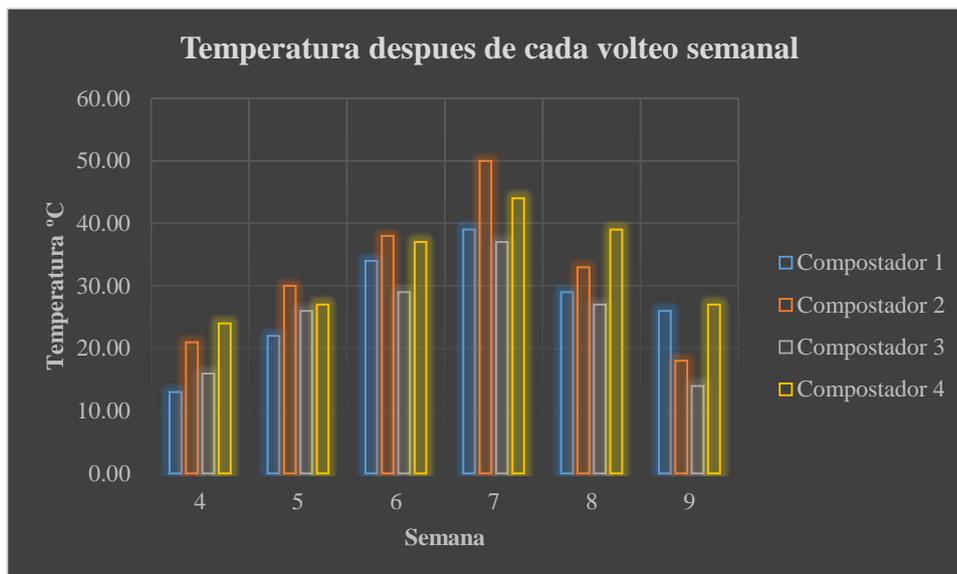
Anexo E

Control de temperatura después de cada volteo

Compostador	Semanas					
	Temperaturas (°C)					
	4	5	6	7	8	9
1	13,00	22,00	34,00	39,00	29,00	26,00
2	21,00	30,00	38,00	50,00	33,00	18,00
3	16,00	26,00	29,00	37,00	27,00	14,00
4	24,00	27,00	37,00	44,00	39,00	27,00

Fuente: Propia del investigador, 2016

Dinámica de temperatura después de cada volteo



Fuente: Propia del investigador, 2016

Anexo F

**Propuesta de programa de educación y sensibilización ambiental de la
Municipalidad Distrital de San Jerónimo**



Cusco - Perú

2016

Descripción

Consiste en ejecutar un programa de educación y sensibilización ambiental a través de un taller dirigido a líderes de organizaciones locales, padres de familia y representantes del sector comercial e industrial, para el manejo adecuado de los residuos sólidos, así también, el buen aprovechamiento de la materia orgánica en sustancias nutritivas. El estudio de tesis desarrollado sobre **“Evaluación de la eficiencia de la Planta de Compostaje del distrito de San Jerónimo, Provincia y Región de Cusco”** permitió tomar conciencia, valores y principios sobre la importancia del ambiente para el mejoramiento de la calidad de vida.

Justificación

El programa de sensibilización que se diseña para dar a conocer esta investigación, correspondiente a la etapa de producción, se estructurara dentro de un plan de acción orientado a los líderes locales, padres de familia y representantes de los sectores comerciales e industrial, para reforzar valores, principios y concienciación sobre la problemática del manejo integral de los residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo. Así mismo, ellos podrán extender la información en los habitantes de sus sectores respectivos.

Objetivos

Capacitar a líderes de organizaciones locales, padres de familia y representantes del sector comercial e industrial del distrito de San Jerónimo sobre temas de manejo de residuos sólidos y su aprovechamiento en sustancias nutritivas.

Conformar comités para continuar con el proceso de sensibilización ambiental y cuidado del ambiente.

Estrategias y actividades

Estrategias	Actividades
Propiciar mecanismos de comunicación con los líderes representantes del distrito de San Jerónimo	Realizar capacitación por medio de talleres sobre el manejo adecuado de los residuos y su aprovechamiento.
Observación directa	Mediante la aplicación de una lista de chequeo se identificara e inactivara a todos los participantes en los talleres

	realizados.
Extender y orientar la información sobre manejo adecuado de residuos sólidos y su aprovechamiento con el resto del distrito de San Jerónimo	Aplicación de talleres de sensibilización y entrega de folletos de procedimiento para el manejo adecuado de residuos sólidos y su aprovechamiento.

Contenidos

Contenidos	Descripción
Educación Ambiental	La educación ambiental es un proceso permanente de carácter interdisciplinario destinado a la formación de una ciudadanía que forme valores, aclare conceptos y desarrolle las habilidades y las actitudes necesarias para una convivencia armónica entre los seres humanos, su cultura y su medio biofísico circundante.
Objetivo de la educación ambiental.	El objetivo principal de la Educación Ambiental es entender el desarrollo sustentable como el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones actuales y futuras.
Características de la educación ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> • Ayudar a ser más sensibles y conscientes ante el Ambiente. • Ayudar a desarrollar una comprensión básica del ambiente, así como de la interrelación del hombre con el mismo. • Adquirir valores sociales y una gran preocupación por el Ambiente. • Facilitar oportunidades para comprometerse a trabajar a todos los niveles en la resolución de los problemas ambientales
¿Qué es un residuo sólido?	Resultante del consumo y uso de un bien, o actividades como las domésticas, industriales, comerciales, institucionales,

	o de servicios, que se abandona, rechaza o entrega y que es susceptible al aprovechamiento o transformación de un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Se dividen en aprovechables y no aprovechables.
Separación en la fuente de generación	Es la recuperación de los materiales reciclables y orgánicos en su punto de origen como por ejemplo: el hogar, comercio, industrias y escuelas. Estos materiales recuperados son llevados a los centros de acopio y reciclaje correspondientes a sus categorías en donde los almacenan y algunos los preparan para ser procesados.
Riesgos que producen los residuos y desechos sólidos.	<p>Riesgos directos:</p> <p>Son los ocasionados por el contacto directo con los desechos, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos.</p> <p>Asimismo, los vehículos de recolección no siempre ofrecen las mejores condiciones: en muchos casos, los operarios deben realizar sus actividades en presencia continua de gases y partículas emanadas por los propios equipos, lo que produce irritación en los ojos y afecciones respiratorias.</p> <p>.</p> <p>Riesgos indirectos:</p> <p>El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras</p>

	<p>dolencias de mayor gravedad.</p> <p>Los desechos de residuos sólidos son la fuente principal de reproducción de la mosca doméstica, que transmite enfermedades y causa la muerte de millones de personas en todo el mundo.</p> <p>Por tanto, el elemento clave para el control de la mosca doméstica es un buen almacenamiento, seguido de la recolección y disposición sanitaria final en rellenos sanitarios.</p>
Residuos sólidos orgánicos	<p>Son residuos que pueden ser degradados biológicamente, de los cuales se puede obtenerse sustancias nutritivas como el compost o sustancias nutritivas como el biogás.</p>
Sistemas de compostaje	<p>Son sistemas que tienen el objetivo de producir sustancias estables y limpias de patógenos. No son más que variaciones tecnológicas y comerciales que están en función a un mismo método (nivel de aireación, lograr temperaturas para eliminar patógenos y lo más importante el contenido de nutrientes).</p>
Legislación ambiental aplicable.	<p>A continuación se lista de manera general, la normatividad vigente aplicable:</p> <p>Ley 28611, Ley general del ambiente. La gestión de residuos sólidos de origen municipal, comercial o similar a estos, son netamente responsabilidad de los gobiernos locales.</p> <p>Ley 27314, Ley general de residuos sólidos. La gestión y manejo de residuos sólidos están regidas en: desarrollar o usar tecnología, métodos, prácticas, etc. A fin de ayudar en la reducción de los residuos sólidos o la mejora de la gestión de los mismos</p> <p>Ley 27872, Ley orgánica de municipalidades. Son de responsabilidad exclusiva de los gobiernos provinciales, el control del proceso de disposición final de los residuos sólidos municipales.</p>

Personas Responsables

Gerencia de medio ambiente de la municipalidad distrital de San Jerónimo, Líderes de organizaciones locales, proponentes del proyecto.

Beneficiarios

Ciudadanía del distrito de San Jerónimo, Padres de familia, representantes del sector comercial e industrial de la zona.

Recursos

Humanos	Especialistas en el tema, padres de familia y representantes del sector comercial.
Físicos	Auditorio de la municipalidad distrital de San Jerónimo.
Audiovisuales.	Cañón multimedia, computadora portátil
Material De Apoyo	Papelería, lápices o bolígrafos, carpetas, distintivos, marcadores, etc.

Evaluación y seguimiento

La evaluación y seguimiento del programa de sensibilización ambiental se realizara a través de la aplicación del ciclo PHVA (planear – hacer – verificar – actuar), como se detalla a continuación:



Taller

Por un distrito más culto	
Fecha:	Hora:
Beneficiarios: Distrito de San Jerónimo, padres de familia, sector comercial e industrial de la zona.	
Tema: Implementar un programa de sensibilización ambiental cuyo objetivo principal es capacitar a los líderes de organización es locales, padres de familia, representantes de locales comerciales e industriales. Con todo relacionado a la disposición adecuada y manejo integral de los residuos sólidos, protección de los recursos naturales, para disminuir significativamente el impacto ambiental en el distrito.	
Objetivos: Capacitar a líderes de organizaciones locales, padres de familia y representes del sector comercial e industrial del distrito de San Jerónimo sobres temas de manejo de residuos sólidos y su aprovechamiento en sustancias nutritivas.	
Material: Marcadores borrables y permanentes, lapiceros, cartulinas.	
Equipos: Computador, Cañón multimedia, cámaras fotográficas.	
Procedimiento: Se convoca a los ciudadanos del distrito de San jerónimo. Se da inicio a la actividad de sensibilización con los asistentes haciendo una presentación del equipo orientador y dándo la bienvenida a cada uno de los miembros presentes. Se realiza una presentación de un video de sobre: “Aprovechamiento de los residuos orgánicos en la planta piloto de compostaje del distrito” Se da la palabra a los asistentes. Se efectua la presentación en ppt los temas a desarrollar por parte de los orientadores de la capacitación. Se realiza la entrega de un taller relacionado con el manejo de los residuos sólidos y su aprovechamiento en los hogares. Esto, con los siguientes preguntas: 1. ¿Cuál es su nombre y en qué calle vive? 2. ¿Usted sabe ¿Qué es reciclar? 3. ¿Usted clasifica en la fuente? 4. ¿Qué tipo de residuos produce usted en su hogar? 5. ¿Cuáles son los residuos que más se producen en su calle? 6. ¿Cuáles son los residuos que más contaminan según usted su barrio y cuáles son los lugares más afectados en su comunidad por el exceso de residuos? 7. ¿Cuál cree usted puede ser una alternativa para aminorar los impactos que producen los residuos en su comunidad? En las cartulinas y con lapiceros para responder a los interrogantes.	

Lista de chequeo para observación directa

Fecha: _____

Formato aplicado como instrumento diseñado para evidenciar la observación en el distrito dentro de la propuesta de educación y de sensibilización ambiental.

Información General				
N°	Observación	Si	No	Observaciones
1	Se evidencia en el distrito acumulación de residuos sólidos.			
2	Se evidencia clasificación de los residuos sólidos.			
3	Existe la dotación suficiente de recipientes para residuos sólidos			
4	Se separan los residuos reciclables como metales y vidrios			
5	Existe un lugar específico para el almacenamiento de residuos sólidos			
6	Hay señalización correspondiente para la Evacuación y recolección de los residuos.			
7	Se evidencia el conocimiento del funcionamiento de la planta piloto de compostaje en el distrito			

Fecha: _____

